

PRODUCTOS DERIVADOS DE LA MADERA

Santiago Vignote Peña

Universidad Politécnica de Madrid

Indice

Resumen

- 1.- Introducción
- 2.- Madera compuesta
 - 2.1.- Vigas dúo, trío y perfiles laminados
 - 2.2.- Madera laminada
 - 2.3.- Madera microlaminada LVL
 - 2.4.- Paralam PSL
- 3.- Madera tratada con productos protectores de la madera
 - 3.1.- por la acción protectora que realiza
 - Insecticida
 - Fungicida
 - Ignifugo
 - Protectores de la luz
 - 3.2.- Por el tipo de disolvente que utiliza
 - 3.3.- Por el tipo de protección que se pretende hacer
 - Protección preventiva
 - Protección curativa
- 4.- Madera modificada
 - 4.1.- Madera acetilada
 - 4.2.- Madera furfurylada
 - 4.3.- Madera termotratada
 - 4.4.- Madera densificada
- 5.- Composites
- 6.- Tableros de uso en España
 - 6.1.- Tipos y composición
 - Tableros alistonados
 - Tableros contrachapados
 - Tableros de partículas
 - Tableros de fibras
 - 6.2.- Características físicas de los tableros
 - 6.3.- Características mecánicas
 - 6.4.- Patología de los tableros
 - 6.5.- Otras características
 - 6.6.- Otros tipos de tableros
 - Tableros OSB
 - Tableros de partículas cemento
 - Tableros de viruta cemento
 - Tableros atamborados
 - Tableros ligeros
 - 6.7.- Recubrimientos
 - De las caras
 - De los cantos

Resumen

Se analizan las características físicas, mecánicas, la patología y los usos de los productos derivados de la madera o compuestos, que tienen día a día mayor utilización por la industria de segunda transformación y usuarios finales, dada la versatilidad que tiene cada uno de estos productos.

Los productos que se analizan son los siguientes:

Vigas dúo, trío y perfiles laminados

Madera laminada

Madera microlaminada LVL

Paralam PSL

Madera tratada con productos protectores insecticida; fungicidas; ignífidos o/y protectores de la luz

Madera acetilada

Madera furfurylada

Madera termotratada

Composites

Tableros alistonados

Tableros contrachapados

Tableros de partículas

Tableros de fibras

Tableros OSB

Tableros de partículas cemento

Tableros de viruta cemento

Tableros atamborados

Tableros ligeros

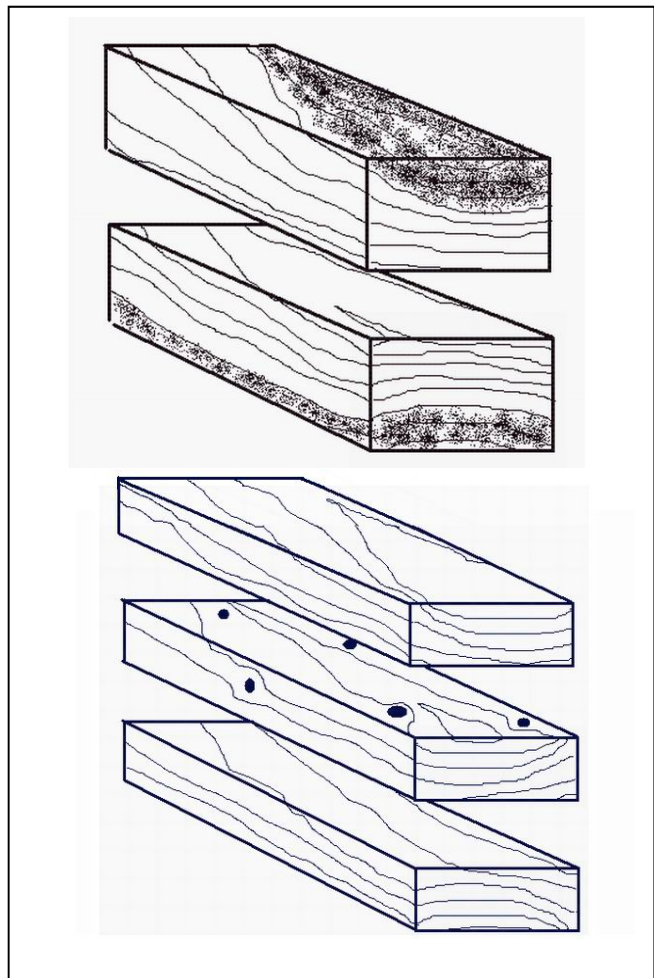
1.- INTRODUCCIÓN

La madera, como se ha ido señalando a lo largo de su estudio, tiene una serie de inconvenientes que dificulta su uso en muchas aplicaciones: tiene limitadas sus dimensiones, siendo rara encontrar piezas que superen los 9 o 10 m de longitud, su anchura y grueso excepcionalmente puede superar los 30 cm, su higroscopicidad y con ello sus cambios dimensionales provocan efectos indeseables en muebles, carpintería y otros productos, su durabilidad aunque varía mucho con las especies, depende de las condiciones de uso de esa madera y por último, aunque sus características mecánicas son bastante aceptables, tiene naturalmente sus limitaciones.

A lo largo de los tiempos, el hombre ha ido desarrollando tecnologías y técnicas que han ido superando estas limitaciones, en algunos casos, se ha conseguido superarlas perfectamente, si bien aún queda mucho por investigar, de forma que la madera pueda adaptarse con éxito a las prestaciones que requiere cada producto y por supuesto todo dentro de una competitividad económica con el resto de los materiales.

A lo largo de este capítulo se van a exponer esas técnicas, analizando los problemas de cada una de ellas.

Esquema 1: Composición de vigas dúo y trío



2.- MADERA COMPUESTA

Se denomina madera compuesta a la pieza de madera formada por varios elementos de madera encolados entre si de forma que la pieza trabaje como un conjunto de las piezas que lo forman. No se va a incluir dentro de este capítulo los tableros, es decir, la madera compuesta en donde predominan 2 direcciones (largo y ancho), frente a la 3ª dimensión.

Los productos de madera compuesta son los siguientes:

2.1.- VIGAS DÚO, TRÍO Y PERFILES LAMINADOS

Son piezas formadas por la unión de dos, tres o mas elementos de madera aserrada y cepillada, encoladas por las caras buscando aumentar el grueso de la pieza, a la vez que mejorar la estabilidad dimensional y el comportamiento mecánico del conjunto dado que el movimiento de las láminas se absorbe en parte por la línea de la cola y los defectos de cada una de las láminas son compensados por la menor probabilidad de coincidencia de ese defecto en el resto de las láminas que forman la pieza.

de coincidencia de ese defecto en el resto de las láminas que forman la pieza.

En el esquema 1 se indica la composición de una viga dúo, en que las piezas se unen por su cara tangencial (cara que va a recibir menos humedad) y deja la cara radial al exterior, siendo frecuente que coincida con el duramen. En la composición de la viga trío se observa como la pieza central puede tener defectos como nudos, que dada la posición de la pieza, apenas tiene requerimientos mecánicos.

La utilización de maderas con grueso superior a 15 cm tienen el problema, primero que el tiempo de secado es siempre muy elevado, además las normales tensiones que se producen en

Foto 1: Vigas dúo y trío



el secado lleva a que, salvo excepciones, se produzcan fendas que, aunque apenas merman la resistencia mecánica de la madera, las devalúa visualmente. Con las vigas dúo, trío o los perfiles laminados, este inconveniente se evita, a la vez de disfrutar de las ventajas anteriormente señaladas.

Las dimensiones más habituales de estas piezas compuestas son los siguientes:

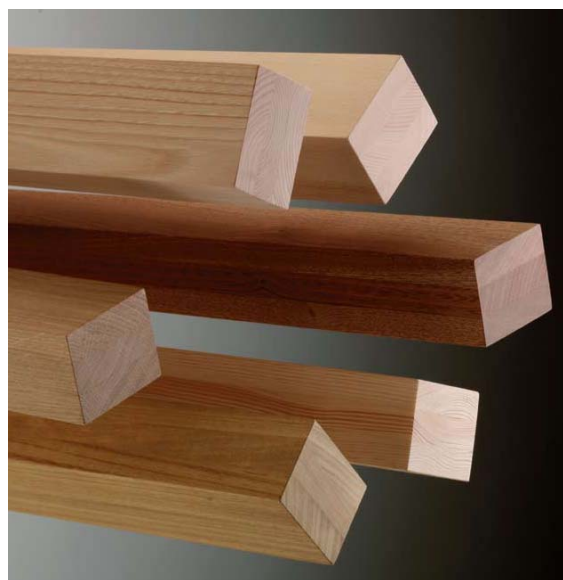
Tabla nº1: Dimensiones de las piezas compuestas dúo y trío

Anchura (mm)	Altura (mm)							
	100	120	140	160	180	200	220	240
60		Dúo	Dúo	Dúo	Dúo	Dúo	Dúo	Dúo
80				Dúo	Dúo	Dúo	Dúo	Dúo
100	Dúo			Dúo	Dúo	Dúo	Dúo	Dúo
120		Dúo		Dúo	Dúo	Dúo	Dúo	Dúo
140	Dúo	Dúo	Dúo			Dúo		Dúo /Trío
160	Dúo	Dúo				Trío		Trío
180	Dúo	Dúo			Trío			Trío
200	Dúo	Dúo			Trío	Trío		

Foto 2: Perfiles laminados

Mientras que las vigas dúo y trío tiene su aplicación en carpintería estructural, los perfiles laminados tienen su aplicación en carpintería de huecos (puertas y ventanas), en escaleras, etc.. por lo que las dimensiones más usuales son de 70x85; 70x100; 70x115; 70x145; 80x100; 80x120 y 80x140 mm

Los perfiles laminados se clasifican según si las caras tienen o no uniones de empalme.



2.2.- MADERA LAMINADA

Es una pieza formada por la unión de elementos de madera aserrada cepillada encolados en la misma dirección, tomando una longitud indefinida, un grueso de altura h y una anchura que coincide con la anchura de las tablas. Realmente es un caso particular de los perfiles laminados, aunque en este caso el número de láminas es muy elevado y en muchos casos las láminas tienen forma curva.

En la foto 3 se manifiesta las características dimensionales de la madera laminada, en donde la longitud solo tiene la limitación que le impone un posterior transporte, siendo esta de 38 m. La anchura suele ser de hasta 25 cm y la altura de la viga tiene limitaciones en función de las clases de servicio que impone el Código Técnico de la Construcción, que se indica en la tabla 2.

Foto 3: Viga laminada con perfil curvo utilizada en la construcción de una pasarela.



Tabla 2: Espesor de las láminas y altura de la viga según clases de servicio.

	Clase de servicio					
	1		2		3	
	Espesor máximo lamina (mm)	Altura máxima de la viga (mm)	Espesor máximo lamina (mm)	Altura máxima de la viga (mm)	Espesor máximo lamina (mm)	Altura máxima de la viga (mm)
Coníferas	45	10.000	45	9.000	35	7.000
Frondosas	40	7.500	40	7.500	35	6.000

La fabricación de la madera laminada es en esencia similar a los perfiles laminados. Las piezas de madera aserrada con una humedad adecuada, se sanean, se empalman mediante uniones de entalladura múltiple, se cepillan, se encolan y se pasan a una prensa de especiales características, dado el tamaño y la versatilidad de piezas que se pueden diseñar.

La resistencia característica de una viga de madera laminada es la que figura en la en la tabla 3, confeccionada para coníferas y suponiendo que las calidades de las láminas son homogéneas.

Tabla 3: Valores característicos de resistencia de las distintas clases resistentes de madera laminada

Clase resistente	GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Flexión paralela a la fibra Kg/cm ²	24	28	32	36
Tracción paralela Kg/cm ²	16,5	19,5	22,5	26
Tracción perpendicular a la fibra Kg/cm ²	0,4	0,45	0,5	0,6
Compresión paralela a la fibra Kg/cm ²	24	26,5	29	31
Compresión perpendicular a la fibra Kg/cm ²	2,7	3	3,3	3,6
Cortante Kg/cm ²	2,7	3,2	3,8	4,3
Módulo de elasticidad: Paralelo a la fibra	11.600	12600	13700	14700
Kg/cm ² Perpendicular a la fibra	390	420	460	490
Módulo cortante Kg/cm ²	720	780	850	910
Densidad Kg/m ³	380	410	430	450

2.3.- MADERA MICROLAMINADA LVL:

Es un producto de madera formados por la disposición de chapas de hasta 5 mm de grosor, en forma paralela, comercializándose en largos de entre 2,5 a 25 m, aunque no suelen rebasar los 6 m; anchos de entre 100 a 1800 mm y gruesos de entre 5 y 75 mm

Foto 4: Cubierta de madera mediante vigas LVL



Al final el producto funciona como si fuese madera laminada. Los valores característicos son los indicados en la tabla 4.

Tabla 4: Valores característicos de resistencia de la madera LVL

Característica	
Flexión paralela a la fibra Kg/cm ²	96
Módulo de elasticidad Kg/cm ²	140.000
Compresión paralela a la fibra Kg/cm ²	189
Compresión perpendicular a la fibra Kg/cm ²	35
Cortante Kg/cm ²	20

2.4.- PARALAM PSL

Es un viga fabricada a partir de tiras de madera (residuos de la industria de chapa) o de viruta ancha, encoladas con colas termoendurecibles y dispuestas en forma paralela a la fibra.

Al final el paralam es un producto muy similar a los tableros de virutas anchas pero con una única dimensión predominante (la longitud). Sus características son las indicadas en la tabla 5.

Tabla 5: Valores característicos de resistencia de la madera LVL

Característica	
Flexión paralela a la fibra Kg/cm ²	200
Módulo de elasticidad Kg/cm ²	140.000
Compresión paralela a la fibra Kg/cm ²	189
Compresión perpendicular a la fibra Kg/cm ²	35
Cortante Kg/cm ²	20

3.- MADERA TRATADA CON PRODUCTOS PROTECTORES DE LA MADERA

La madera tratada, es aquella que recibe un producto que tiene funciones de protección de la madera, buscando que esta mejore sus prestaciones fundamentalmente de durabilidad.

Los productos protectores se clasifican según los siguientes aspectos:

3.1.- POR LA ACCIÓN PROTECTORA QUE REALIZA:

- INSECTICIDAS:

Son aquellos que protegen a la madera de la acción de los insectos xilófagos. Las características que se exigen a estos productos es la de ser tóxicos específicos a los insectos que se quieren controlar, es decir, que tengan escaso carácter tóxico, que penetren bien en la madera, que no la manche y que sean degradables fácilmente. Los tipos de insecticidas utilizados y sus características son las siguientes:

- Inorgánicos: Son productos de carácter tóxico general, incluso para el hombre, persistentes y acumulativos, por lo que por sus efectos ambientales están muy limitados en su uso. Por su carácter fungicida se utilizan (como ya se verá) los productos basados en Arsénico, el Zinc, el Cobre, el Cadmio, y el Cromo, por su carácter insecticida el producto más utilizado, sólo con carácter curativo, es el bromuro de metilo que presenta como principal característica su carácter gaseoso y por tanto tiene la propiedad de introducirse fácilmente hasta el interior de la madera consiguiendo matar a los insectos, pero por su alta toxicidad general y por sus efectos ambientales, sobre todo en lo que se refiere a daños en la capa de ozono, está muy restringida su utilización.
- Aceites minerales o de petróleo: Son productos derivados del petróleo cuya acción insecticida se basa en impedir la respiración de los insectos. Tienen la ventaja de no presentar ningún riesgo a la salud humana y de no hacerse resistentes los insectos a su acción. Por el contrario, tiene el inconveniente de penetración en la madera y de mancharla por lo que apenas se utilizan.
- Compuestos nitrogenados orgánicos: Son tóxicos de carácter general y persistente por lo que tampoco se utilizan. Son sustancias derivadas del cresol y del fenol, con marcado efecto fitotóxico. También tienen efecto fungicida especialmente contra oidiosis.
- Compuestos organo-clorados: Son productos tóxicos de carácter general que actúan por contacto, introduciéndose por la cutícula, aunque también son de ingestión y algunos de inhalación, produciendo en el insecto una alteración del sistema nervioso central, que produce hiperactividad, temblores y falta de coordinación. Al contrario que la mayoría de los demás insecticidas, su acción tóxica se incrementa a medida que la temperatura es menor. Son persistentes (de entre 4 y 16 años, según circunstancias, aunque puede

aumentar cuando está protegido de la luz) y se acumulan en las grasas (lipófilos). Son difícilmente solubles en agua. Entre los más conocidos destacan los siguientes, alguno de ellos ya prohibidos: DDT, Hexacloruro de benceno, Lindano, Ciclodienos (Aldrín, Dieldrín, Endrín) Policloroterpenos (Toxafeno).

De todos ellos el que todavía más se utiliza es el Pentaclorofenato sódico (por añadirse a su carácter insecticida el ser fungicida) y el Lindano, este último con aplicaciones orgánicas para tratamientos curativos, aunque por su impacto ambiental se realiza con fuertes limitaciones de uso.

- En los últimos años se han desarrollado los Fenilpirazoles (Fipronil), que se pueden considerar Organoclorados de segunda generación, se caracterizan por su carácter sistémico
- Compuestos organo-fosforados: Son insecticidas que basan su acción también en desorganizar el sistema nervioso, muy común a todo el reino animal. Su acción concreta se basa en la inhibición de la formación de colinesterasa esencial para el control de las transmisiones entre células nerviosas

Son poco persistentes (excepto el Etion) debido a la acción de la luz. Son fácilmente solubles en agua. Derivados alifáticos (Malation, Triclofon) Fenil derivados (Fention, Fenitrothion, Fosmet), Derivados heterocíclicos (Azinfos-metil Etion, Diazinon).

Existen formulaciones de todo tipo de forma que los hay de contacto, ingestión y efecto fumigante; sistémicos y no sistémicos; muy estables y de persistencia fugaz. La mayoría tiene un amplio espectro de acción.

- Carbamatos: Son muy parecidos a los organo-fosforados, pues su acción es muy variable, siendo alguno de sus productos de tipo sistémico. Su toxicidad se basa también en inhibir la formación de la colinesterasa del sistema nervioso de los insectos y por tanto es un tóxico de carácter general. Se degrada muy rápidamente por la luz. Su solubilidad en el agua es intermedia entre los organoclorados y organofosforados. Tiene el problema de que los insectos se hacen rápidamente resistentes al insecticida, siendo necesaria su sustitución. Destaca entre todos los productos el Carbaryl, y en menor medida Carbofuran, Aldicarb, Propoxur,...

Los Himenópteros son muy sensibles a estos insecticidas

- Insecticidas naturales: Son insecticidas de ingestión, de toxicidad muy restringida a los insectos. Tienen escasa persistencia, degradándose rápidamente por la luz o por la acción bacteriana. Destacan los siguientes productos: Piretrinas o también llamado pelitre, que se obtiene de los pétalos de ciertos crisantemos. La nicotina es un alcaloide que se obtiene de la planta del tabaco. La rotenona obtenida de las raíces de ciertas leguminosas tiene como

característica la de inhibir la respiración de los insectos. La cebadilla obtenida de las semillas de una liliacea, la rianodina obtenida del tallo de la Ryania, etc... En general son productos relativamente inestables, y muy caros para poderse aplicar en la madera.

- Piretroides: Son insecticidas derivados del tóxico natural, pelitre. Es un tóxico general, que actúan por contacto como consecuencia de su lipofilia, alterando el sistema nervioso provocando hiperexcitabilidad y convulsiones. Son muy poco persistentes porque la acción de la luz ultravioleta los descompone en pocos días. Las dosis a las que se aplican son muy pequeñas $0,1 \text{ kg/m}^2$. Entre los piretroides destacan Cipermetrin, Cifloxinato, Deltametrin, Fluvalinato, Permetrin todos ellos muy utilizados en la madera.
 - Inhibidores de crecimiento (antiquitinizantes): Son insecticidas de ingestión, toxicidad restringida a las larvas, que basan su acción en impedir la deposición de quitina, y por tanto realizar la muda. El insecto que sigue creciendo queda comprimido por su propio tegumento externo. Entre los productos más destacados están los siguientes: Diflubenzuron, Triflumuron, Hydroprene. Para el caso de madera debe destacarse el Hexafluobenzuron utilizado para el combate contra termitas. Son insecticidas muy poco solubles en agua
 - Otros insecticidas: Los insecticidas bacterianos (*Bacillus thuringiensis*, que liberan toxinas en el estómago y lo paraliza), los atrayentes sexuales (pitioleure en la procesionaria) o los repelentes, o las hormonas juveniles (Benzoilurea con su marca comercial metopreno) que posterga la metamorfosis, etc., son productos en fuerte desarrollo pero con poco interés en los insecticidas xilófagos.
- **FUNGICIDAS:**
- Son los que protegen a la madera de la acción de los hongos xilófagos. Los productos fungicidas basan su acción o bien en interferir el proceso vital de desarrollo del hongo inhibiendo los procesos enzimáticos o en alterar la membrana celular del hongo. Los productos más utilizados son los siguientes:
- Inorgánicos: Son los productos más antiguos que se utilizan en forma de sales solubles. Destacan los compuestos metálicos de alto peso molecular, tal como el Arsénico, el Zinc (ambos con fuertes restricciones de uso por su alta toxicidad y daños ambientales), el Cobre, el Cadmio, el Cromo. El problema de estas sales es su carácter deslavable por los ciclos de humedecimiento y secado que tiene la madera. En este sentido las sales de cromo se hacen imprescindibles para fijar las materias activas a la madera haciendo no deslavables los productos, aunque tiene como inconveniente que manchan la madera de color verdoso.
 - También tienen carácter fungicida el azufre y los polisulfuros, pero a la dificultad de penetración de la madera (son polvos o polvos mojables) se une el color y olor que transfieren a la madera.

- **Orgánicos:** Son muchos los productos orgánicos que se han desarrollado en los últimos años con carácter fungicida, entre los más importantes destacan los siguientes:

- **Ditiocarbamatos:** Son productos de baja toxicidad en mamíferos que se suelen formular en forma de sales, la mayoría son productos poco solubles en agua salvo los Etilen-bis-ditiocarbamatos sódicos o amónicos por lo que son utilizables en la madera por su facilidad de penetración, aunque deslavables.
- **Organo-clorados:** Los derivados orgánicos del fenol (Pentaclorofenato) y de la quinona son fungicidas, el primero muy soluble en agua (de fácil penetración pero deslavable) pero como ya se dijo anteriormente por su carácter de muy tóxico y persistente se está restringiendo su uso. Los derivados de la quinona se basan en la piel de las nueces del nogal, pero a pesar de su baja toxicidad su carácter insoluble hace que no pueda emplearse apenas en la madera.
- **Heterociclos:** Son compuestos orgánicos que se caracterizan por tener un anillo con átomos de N, O y S. Entre los productos más utilizados, además de la rotenona, son los derivados del imidazol (isotiazolina), derivados del benzimidazol, (tiocianometil tiobenzotiazol), derivados de la triazina y triazol (dicloro aminotriazina y fenil amino tetrametilfosfonodiamida) y derivados de las ftalimidas. Todos ellos son productos sólidos poco o nada solubles en agua.

- **IGNÍFUGANTES:**

Son los que reducen la reacción al fuego de la madera, pasando de ser productos inflamables a ser en mayor o menor medida, difícilmente inflamable.

Se distingue entre los ignífugos, los denominados de capa (impiden durante escasos minutos, que llegue oxígeno a la madera) y los ignífugos totales, con productos tales como Sulfato y Fosfato amónico, Ácido bórico, Cloruro de cinc. Estos tipos de productos, basan su acción ignífuga en que reaccionan con el calor, emitiendo sustancias que acaparan el oxígeno del aire, y por tanto impide que la madera se queme.

- **PROTECTORES DE LA LUZ:**

La protección de la luz solo se consigue situando entre la madera y la luz una barrera de productos que reflejen la luz. Estos productos suelen pigmentos metálicos en mayor o menor tamaño, bien formando pinturas (en donde los pigmentos por su tamaño tapan totalmente la veta de la madera) o lasures (los pigmentos tienen tamaño micelar), en los que la veta de la madera se mantiene, aunque la oscurece.

3.2.- POR EL TIPO DE DISOLVENTE CON QUE SE APLICA

- **Orgánicos:** El disolvente es orgánico. El carácter mojante y apolar de estos disolventes, hace que sean los protectores que con mayor facilidad penetran en la madera. Esta propiedad, unida a su transparencia, y por tanto de no producir manchas en la madera y de ser, en general compatible con gran parte de los

barnices de fondo y de acabado de la madera, hacen de este tipo de protector los más utilizados para la industria de carpintería y mueble. Se suelen aplicar después del lijado y previo a la aplicación del fondo.

- **Hidrosolubles:** El producto es fácilmente soluble en agua, por lo que utiliza lo utiliza como disolvente en mayor o menor concentración. Los productos hidrosolubles se utilizan para el tratamiento de maderas húmedas (humedad entorno al 30%), aprovechando el efecto de la difusión para la penetración del producto. El problema de este tratamiento es que con el secado de la propia madera el producto de tratamiento (salvo que haya habido una adhesión o reacción en el interior de la madera que fije el producto, como la ya indicada de las sales de cromo) migra hacia el exterior de la madera perdiendo el tratamiento. Con madera seca, la penetración es pequeña y además supone la humectación de la madera, inconvenientes que se añaden al deslavado que se produce con el secado de la madera, por lo que no se utiliza. Su aplicación está restringida a la industria de primera transformación (aserrado) en tratamientos preventivos temporales o a la industria de apeas y postes en tratamientos preventivos permanentes.

Es muy típico en añadir a los productos protectores hidrosolubles productos que mejoran la penetración de estos. El producto más utilizado es el Bórax, que por su baja tensión superficial hace más mojable la madera, facilitando la penetración del agua en la madera tanto en rapidez como en profundidad, además este producto tiene un cierto carácter insecticida y fungicida complementario.

- **Hidrodispersables:** Son productos no solubles en agua por lo que para poder utilizar este disolvente deben emulsionarse para mantenerse en suspensión. El tamaño con que se emulsionan los productos es importante en la profundidad con que penetran y el hecho de que los productos no sean solubles en agua dificulta su deslavado, si bien se mejora esta cualidad añadiendo a las materias activas resinas fijadoras.

Son los productos con más amplio desarrollo sobre todo en tratamientos superficiales por las ventajas de no manchar la madera, ser compatible los encolados o acabados posteriores y por el menor daño ambiental que supone la utilización como vehículo del agua frente a los disolventes orgánicos.

- **Creosotas:** Son derivados del petróleo y la hulla. Su composición química es bastante compleja, conteniendo alquitranes ácidos, básicos y neutros, destacando la existencia de Benzopirenos y Fenoles extraíbles en agua productos de alta toxicidad y persistencia que están limitando la aplicación de estos productos en la madera. La directiva europea 2001/90/CE limita estos productos a una concentración máxima de 0,005% en masa (50 ppm) y 3% en masa respectivamente y además sólo puede aplicarse a traviesas de ferrocarril, postes, cercados, tutores de árboles y pilotes en puertos y vías navegables.

3.3.- POR EL TIPO DE PROTECCIÓN QUE SE PRETENDE HACER

- **Protección preventiva:** Lo que se busca es evitar que la madera pueda ser atacada por agentes destructores de la madera. Dentro de estos productos se pueden distinguir los siguientes:
 - **Protección preventiva temporal:** Son aquellos cuya eficacia preventiva se limita a un determinado tiempo (hasta que la madera se seca). La pérdida de eficacia se debe a que el producto protector es deslavado por la acción del agua, tanto la externa como la de la propia madera. Es típico en el tratamiento antiazulado de la madera.

Tabla nº6: Productos alternativos al Pentaclorofenol son los siguientes
(tratamientos preventivos temporales):

Nombre comercial	Ingredientes activos	Concentración recomendable
Basiment NT	Sal de amonio cuaternario (AAC)	5
Mirecide T/100 Wolsin FL-14	Sal de amonio cuaternario (AAC) Metilen bistiocianato (MBT)	2
Mirecide T/150	Sal de amonio cuaternario (AAC) Metilen bistiocianato (MBT) Oxido de tributiltin (TBTO)	2
NP-1	Sal de amonio cuaternario (AAC) 3-iodo-2-propil-butil-carbamato	1,5
Antiblu 3739	Metilen bistiocianato (MBT) Tiocianometil tiobenzotiazol (TCMTB)	1
Butrol 1009	Metilen bistiocianato (MBT)	2
EA-20	Metilen bistiocianato (MBT) Ácido bórico	2
Butrol 30	Tiocianometil tiobenzotiazol (TCMTB)	2
Kemtox F-10	Tiocianometil tiobenzotiazol (TCMTB) Isotiazolina	1

- **Protección preventiva permanente:** Son aquellos cuya eficacia preventiva es de carácter permanente, o por lo menos dura varias decenas de años. En estos casos, el producto protector queda fijo en la madera, independientemente de que esta sufra humedecimientos o secados.

Los productos preventivos permanentes comercializados actualmente en el mercado español se pueden clasificar en dos grandes grupos, las sales de cobre y los productos a base de disolvente orgánicos:

Sales de cobre para impregnación de maderas en autoclave

Estos productos están basados en el cobre y sus derivados como componente fundamental de acción especialmente fungicida. Su aplicación, como posteriormente se expondrá se realiza mediante autoclave, aplicando Vacío-Presión-Vacío.

Dentro de las mismas destacan los siguientes tipos:

Sales de CCA: Compuestas por Cobre, Cromo y Arsénico
 Sales de CCB: Compuestas por Cobre, Cromo y Boro
 Sales de CC: Compuestas por Cobre y Cromo
 Sales exentas de Cromo y Arsénico

Realizando una comparativa de los dos grandes grupos que se comercializan en la actualidad, es decir sales con cromo y sin cromo podemos extraer las siguientes conclusiones:

Tabla 7: Características de las sales de cobre con o sin cromo

Sales con cromo	Sales sin cromo
No son corrosivas	Son corrosivas
Trabajan a pH ácido	Trabajan a pH básico
Protegen la madera frente a los mohos	Tienen un “blanco” de eficacia frente a mohos
Catalogados como “cancerígenos”	Pictograma Xn (Nocivas)
Protección hasta clase de riesgo M5 (CCA)	Protección hasta clase de riesgo M4
No generan espuma	Producen espuma
Poco sensibles a la calidad de agua de trabajo	No pueden trabajar con aguas duras

Analizando cada tipo por separado se tiene:

- **CCA:** Compuestas por Cobre, Cromo y Arsénico
 Las que están actualmente en el mercado son los “tipos C” (Contienen ácido crómico y óxido de cobre). La formulación más común es la que está estabilizada al 60% (Líquido) aunque existe una presentación anterior al 72% (Pasta).

 Su uso está restringido en Europa y USA desde junio de 2004 (no pueden impregnarse maderas que estén en contacto con las personas y su uso se restringe a unas utilizaciones específicas).
- **CCB:** Existen en el mercado los formulados en base sulfatos y en base a óxidos.
 En base a sulfatos: Basados en las formulaciones de CCA tipo A (muy antiguas). Tienen problemas por deslavado y estabilidad en el autoclave.
 En base a óxidos: Basados en las formulaciones de CCA tipo C (la evolución final). No se deslavan y su disolución es muy estable en el autoclave.
- **CC:** Proceden directamente de las formulaciones de CCB, pero eliminando el ácido Bórico.
 El motivo principal de la ausencia del ácido Bórico, es que en algunos mercados del Norte de Europa (sin riesgo de termitas) quieren eliminar el lixiviado de este producto (contaminante de lagos y ríos).

Sales sin Cromo: Están exentas de Cromo y Arsénico.

El aspecto (color azul) es radicalmente diferente de las sales de Cromo.

Son las sales del futuro (ya presente en algunos mercados) para la impregnación de maderas.

Ninguno de los productos actuales llega al grado de protección M5 (medio marino), llegando como máximo a M4.

Protectores en base a disolventes orgánicos

Están especialmente diseñados, en general, para aplicación en autoclave mediante sistemas de doble vacío. Los más desarrollados se encuentran exentos de lindano, compuestos organofosforados y sales de estaño. Incorporan resinas de alta penetración, que además de dotar a la madera de estabilidad dimensional, mejoran el tacto y la hidrofobicidad superficial.

Las características de aplicación y propiedades más importantes son las siguientes:

- La humedad de la madera debe ser inferior al 25%.
 - Si el tratamiento es mediante autoclave, se debe controlar de forma exhaustiva las cantidades absorbidas, como garantía de la durabilidad que se aplica
 - Tras el tratamiento deberá estar la madera de 24-48 horas para que seque convenientemente el producto. Dada la inflamabilidad de los productos debe tenerse especial cuidado durante ese tiempo de oreo.
 - En general, admiten el repintado con pinturas y acabados en base epoxi, poliuretano, alquídicos y acrílicos sin problemas de adherencia y se encuentran libre de parafinas y aceites minerales.
- **Protección curativa:** En este caso la madera se encuentra atacada, por lo que la protección curativa pretende eliminar los agentes que producen dicho ataque.

La protección curativa puede ser simplemente el oreo o secado de la madera, cuando el ataque que presenta es de hongos.

En el caso de insectos existen los siguientes tipos de tratamientos:

- **Caso de insectos de ciclo larvario:** En este caso las larvas se encuentran en el interior de la madera, por lo que es necesario introducir un insecticida en el interior de esta, para que en contacto con el insecto produzca su muerte. A este efecto es clásico el tratamiento de esterilización de maderas mediante un gas, el bromuro de metilo. El problema de este producto, como ya se ha indicado, es su grave toxicidad, que obliga a tomar enormes precauciones en el tratamiento (aplicarlo en un recinto hermético y precintarlo 40 días después de su aplicación).

La alternativa a este producto es la aplicación de insecticidas líquidos mediante jeringuilla aprovechando los orificios de salida de estos insectos.

No siempre es necesario la aplicación de productos insecticidas, también pueden eliminarse mediante tratamientos térmicos a través de calor convencional o mediante radiofrecuencia.

- Caso de termitas: En este caso, el insecto que ataca la madera no vive en su interior, por lo que en la eliminación de este no es necesario tratar a la madera, sino eliminar o el termitero o la colonia.

Una forma de eliminación del termitero es mediante su localización, para lo que se suele recurrir a la aplicación de trazadores radioactivos mediante soluciones ionizantes (Na_{24} , P_{32} , Cl_{36} , Ca_{45} , Sc_{46} o Co_{60}). Se capturan varios insectos que se sumergen en la solución radiactiva, o se le inyecta una pequeña dosis de solución y después se procede a su suelta. Después se siguen hasta su termitero y localizado este, se destruye.

La eliminación de la colonia es uno de los sistemas más actuales, se basa en colocar trampas cebos alimenticios a las termitas, a base de celulosa, añadiendo un insecticida de Hexaflumurón. Las termitas obreras ingieren este producto, alimentan con sus jugos las ninfas, y tanto las obreras como las ninfas, cuando van a mudar mueren, con lo que la colonia perece en un intervalo de tiempo relativamente pequeño, después de la ingestión de esta trampa cebo.

4.- MADERA MODIFICADA

Se denomina madera modificada la madera que ha sido modificada en su estructura. La madera se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina, compuestos que contienen grupos hidroxilo, elementos clave en la interacción entre el agua y la madera y por tanto en la higroscopicidad de esta y en todas las consecuencias que lleva consigo, principalmente en los fenómenos de hinchazón y merma. Los tratamientos de la madera que modifican su estructura son aquellos que reducen los grupos hidroxilo sin alterar o apenas alterando la escisión de las cadenas de polímeros constituyentes de la madera.

La modificación de la madera se consigue mediante la aplicación de productos que reaccionan con los grupos hidroxilo, o bien mediante tratamiento térmico, de forma que los grupos hidroxilos activos que quedan en la madera se reducen de forma importante. En el esquema 2 se señala la forma en como funciona los grupos hidroxilos de la pared celular, en el caso de la madera sin modificar y en el caso de la madera modificada.

Esquema 2: Modificación de la estructura de los componentes de la madera



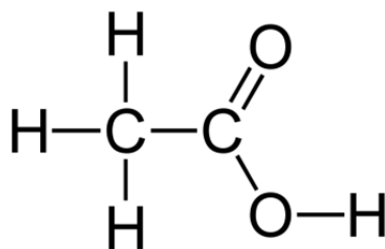
Los tipos de tratamientos son los siguientes:

4.1.- MADERA ACETILADA

La madera en sí, por naturaleza, contiene ya algunas pequeñas cantidades de grupos acetilo, pero estas cantidades pueden aumentarse mediante el tratamiento con anhídrido acético catalizado en donde los polímeros con grupos hidroxilos de la

madera reaccionan con los grupos de anhídrido acético convirtiéndose en grupos acetilo que son hidrófobos.

Esquema 3: Anhídrido acético



De esta forma, la madera se mantendrá permanentemente hinchada, casi independientemente de la humedad ambiental. La independencia de la humedad depende del porcentaje de acetilación, así, con un porcentaje del 20% la humedad de la madera nunca superará el 10%, con porcentaje menores puede aumentar mas la humedad pero puede decirse que la higroscopicidad se reduce en más de un 50% respecto de la madera no tratada. Por supuesto la hinchazón y merma se reducen a valores todavía mayores, así, el pino silvestre acetilado un 10% la contracción volumétrica tangencial apenas llega al 3%, siendo su valor sin tratamiento de alrededor del 6,5%.

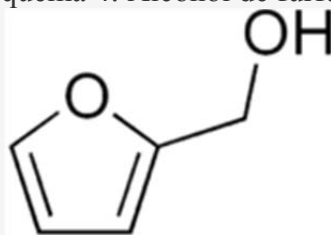
Además de este cambio fundamental, la madera adquiere mayor humedad y se hace mucho mas durable, pudiendo llegar a una durabilidad clase 1 con apenas un tratamiento del 10%. También se incrementa la resistencia a la luz, evitando su oscurecimiento.

Respecto de las propiedades mecánicas, se ha demostrado que la madera acetilada es mas resistente a la compresión y es más dura. En cuanto a la resistencia a la flexión, tanto el módulo de rotura como el de elasticidad se mantienen similares o ligeramente superiores a la madera no tratada. La justificación de estos resultados, deriva de la influencia que tiene la humedad en la resistencia mecánica y como la madera acetilada apenas tiene humedad, aumenta su resistencia.

4.2.- MADERA FURFURYLADA

El método consiste en modificar las moléculas de la celulosa de manera que éstas puedan absorber el alcohol de furfuryl. El alcohol de furfuryl (FA) es un producto químico renovable obtenido a partir de residuos biológicos hidrolizados, extraídos de desechos de la mazorca de maíz y de la caña de azúcar. La reacción química de la catalización ácida de FA en la madera es muy compleja. Los parámetros de reacción (tipo de catalizador y concentración, pH, temperatura, presencia de agua etc.) afectan altamente a los productos resultantes; por ejemplo el grado de inserción de las moléculas de alcohol, tipo de enlace, el tipo dominante de unidades de polímeros y la degradación de los componentes de la madera (en su mayor parte por hidrólisis de celulosa y hemicelulosas).

Esquema 4: Alcohol de furfuril



Las propiedades de la madera tratada con FA dependen de la retención del FA polimerizado (PFA) en la madera. A un nivel de modificación alto (alta retención de PFA) se obtiene un considerable incremento de la dureza, alta resistencia a la degradación química, causada por hongos e insectos, incremento en los módulos de rotura y elasticidad (MOR y MOE), y una alta estabilidad dimensional. A un nivel de modificación más bajo ocurre también una intensificación de las cualidades de la madera, aunque en menor medida.

El problema de aplicación de la furfurylización es la complejidad del proceso, pues además de la aplicación del tratamiento es necesaria la aplicación de un tratamiento de polimerización del alcohol. El proceso consiste en las fases siguientes:

1. Almacenaje y mezcla de los productos químicos Las soluciones de tratamiento se mezclan en un tanque separado de mezcla, donde se añaden los diferentes productos químicos (FA, iniciador /amortiguación, estabilizantes y agua). La solución mezclada se bombea a uno de los tanques de amortiguación. Los productos de condensación serán reutilizados en el momento de mezclar la solución. El FA se almacena en un tanque separado en el exterior que tiene una cubeta a fin de evitar que un eventual escape se filtre al suelo.
2. Primera fase. Impregnación La madera se impregna bajo presión / vacío con la solución de tratamiento, según el procedimiento de célula llena, con un paso de vacío durante 30-60 minutos, un paso de presión de 10 barías durante 2 horas y un paso breve de post-vacío.
3. Segunda fase. Secado intermedio La solución se diluye con agua a niveles más bajos de modificación y como consecuencia la madera impregnada requiere un secado intermedio antes de ser curada.
4. Tercera fase. Reacción Durante esta fase tiene lugar una polimerización «in situ» de los productos químicos produciendo la inserción en los componentes de la madera. La cámara de reacción se calienta con inyecciones directas de vapor a temperaturas entre 80-140 grados, dependiendo del tipo de solución de la impregnación. El tiempo de curación es de 6 a 8 horas.

La cámara opera como un sistema cerrado durante el periodo de curación, con la excepción de un periodo de ventilación al final. El gas de ventilación se enfría con un intercambiador de calor y el producto de la condensación se separa del gas en un separador. El producto de condensación de la cámara se devuelve al tanque de condensación para su reutilización.

5. Secado. El secado final en un secadero es esencial para minimizar las emisiones y para poder transportar la madera seca.

6. Lavado. Las emisiones provocadas por el proceso se tratan en un proceso de lavado con gases ventilados.

4.3.- MADERA TERMOTRATADA

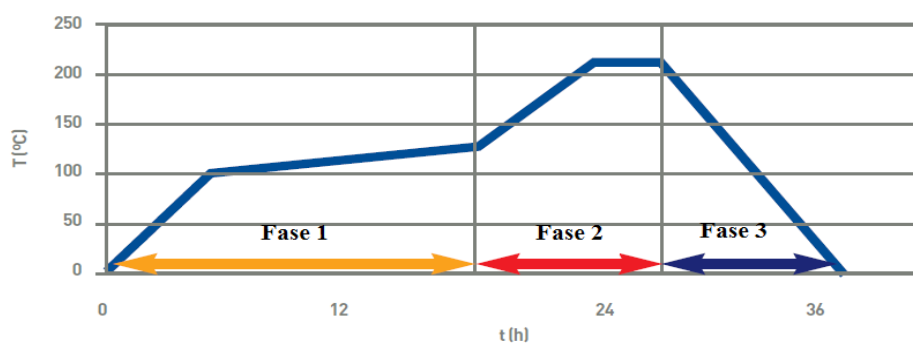
Los procesos de mejoramiento de la madera mediante tratamiento térmico se iniciaron en 1946 por Stamm, Burr y Kline, en donde ya se demuestra la mejora de durabilidad de la madera. El avance más importante lo desarrolla Schneider, que junto con Kollmann probaron en 1963 como el tratamiento térmico proporcionaba estabilidad dimensional a la madera y en 1973, demostró los efectos de la alta temperatura sobre las propiedades mecánicas y en el color, sobre todo a partir de los 150°C. (Ugalde, 2003)

La razón de estos cambios es debido a cambios en la estructura de la madera, con el tratamiento las hemicelulosas liberan ácidos carboxílicos (ácido fórmico y acético). El ácido acético reduce el grado de polimerización (GP) de todos los carbohidratos presentes en la madera, esta reducción o descomposición de los polímeros, especialmente de las de hemicelulosa, mejora la durabilidad de la madera, ya que se sabe que gracias a este efecto se reduce considerablemente el ataque de los hongos. Sin embargo el principal responsable del aumento en la durabilidad de la madera tratada térmicamente es la reducción en la higroscopicidad, los monómeros de los polisacáridos se unen entre ellos a través de sus grupos hidroxilos, reduciendo el carácter polar de la pared celular. Naturalmente esta reducción de la polaridad lleva consigo el aumento de la estabilidad dimensional. (Ugalde, 2003).

Los procesos de termotratamientos más utilizados son los siguientes:

- Thermowood fue desarrollado por VTT en Finlandia y es un proceso de tres etapas llevadas a cabo en presencia de vapor. El vapor de agua afecta a la calidad de la madera tratada térmicamente y también actúa como una atmósfera protectora para evitar que la madera se inflame. Las fases son las siguientes:
 - Fase 1 de secado a alta temperatura. La madera se somete dentro del horno a temperatura de alrededor de 100°C en una atmósfera de vapor saturado. Cuando alcanza esta temperatura se incrementa progresivamente hasta los 130 °C, durante el cual la humedad de la madera se reduce a casi cero.

Esquema 5: Evolución de la temperatura en las distintas fases del termotratamiento



- Fase 2 de tratamiento térmico: Una vez secada la madera, la temperatura del horno se aumenta hasta los 185 a 215 °C (según las propiedades que se quiera obtener) y se mantiene la temperatura constante durante 2-3 horas.
- Fase 3 de refrigeración y acondicionamiento de la humedad. La etapa final es para bajar la temperatura mediante la pulverización de agua. Cuando la temperatura alcanza los 80 -90 ° C, se acondiciona la humedad de la cámara, para que la madera alcance un nivel de humedad de 4-7%.

Según el grado de temperatura a la que se llegue la madera termotratada se clasifica en las siguientes clases:

- Clase 1: Temperatura del tratamiento <180°C. Tratamiento de calor muy ligero. El cambio más importante es el cambio de color. Su durabilidad es muy semejante a la madera sin tratamiento.
- Clase 2: Temperatura de tratamiento <200°C. Tratamiento de calor bajo. La durabilidad que adquiere la madera permite su uso construcciones por encima del suelo donde el riesgo de que humedecimiento accidental o la condensación y el contenido de humedad de equilibrio (caso de madera no tratada) supere el 20%. Por ejemplo, muebles de cocina, parquet, ventanas y puertas. Las propiedades de resistencia mecánica son un poco menores que la madera sin tratamiento, pero menores del 10%.

Foto 4 y 5: Aspecto del abeto rojo sin y con termotratamiento



- Clase 3: Temperatura de tratamiento $>200^{\circ}\text{C}$. Tratamiento de calor bajo. La durabilidad aumenta de forma que la madera puede utilizarse en construcciones que no estén en contacto con el suelo, en situaciones a la intemperie u otras fuentes humectantes tales como la condensación durante el servicio. La madera puede llegar a contenidos de humedad superiores al 20% repetidamente. Las propiedades de resistencia mecánica han disminuido notablemente
- El proceso de Platón, fue desarrollado por la empresa francesa BCI en la década de 1990. Se basa en despolimerizar la hemicelulosa de la pared celular primero sometiendo a la madera verde (la humedad en la pared celular mejora la reactividad de la hemicelulosa) primero a una termohidrólisis a 160 a 190°C en atmósfera con presión superior a la atmosférica. Después la madera pasa por un proceso de secado convencional hasta alcanzar el 10% de humedad, para volver a realizar un segundo tratamiento de calor a 170 - 190°C . Por último, la madera pasa a un periodo de acondicionamiento hasta conseguir una humedad alrededor del 5%.

El medio de calentamiento puede ser vapor o aire caliente.

El tiempo de proceso está en función de las especies de madera utilizadas, el espesor, la forma de madera, etc, pero se sitúa en torno a los siguientes valores:

1. Termólisis 4-5 horas
2. Etapa de secado 3-5 días
3. Termólisis de curado 14-16 horas
4. Acondicionado 2-3 días

La madera termotratada con este procedimiento adquiere un color marrón oscuro, pero se va suavizando con los años hacia el color normal de la madera. Tiene propiedades de higroscopicidad y durabilidad parecidas a la madera termotratada con el sistema VTT, aunque sus valores mecánicos se reducen un poco menos a valores de entre el 5 y el 20%, en función de la temperatura del tratamiento.

4.4.- MADERA DENSIFICADA

La madera es un material poroso y, en teoría, puede ser comprimible hasta que la densidad llega a la de la pared celular ($\sim 1,50 \text{ g / cm}^3$), por otra parte, cuando la madera se calienta por encima de los 100°C , la madera se ablanda y aunque sometida a tracción sigue siendo elástica, a compresión su comportamiento es plástico, con lo cual, producida la deformación, esa se mantiene después de que haya cesado la carga.

De esta forma, la madera densificada, adquiere unas propiedades resistentes mucho más elevadas que la madera antes de densificarse. El problema de esta densificación es que la madera comprimida tiende a recuperarse por efecto de la humedad.

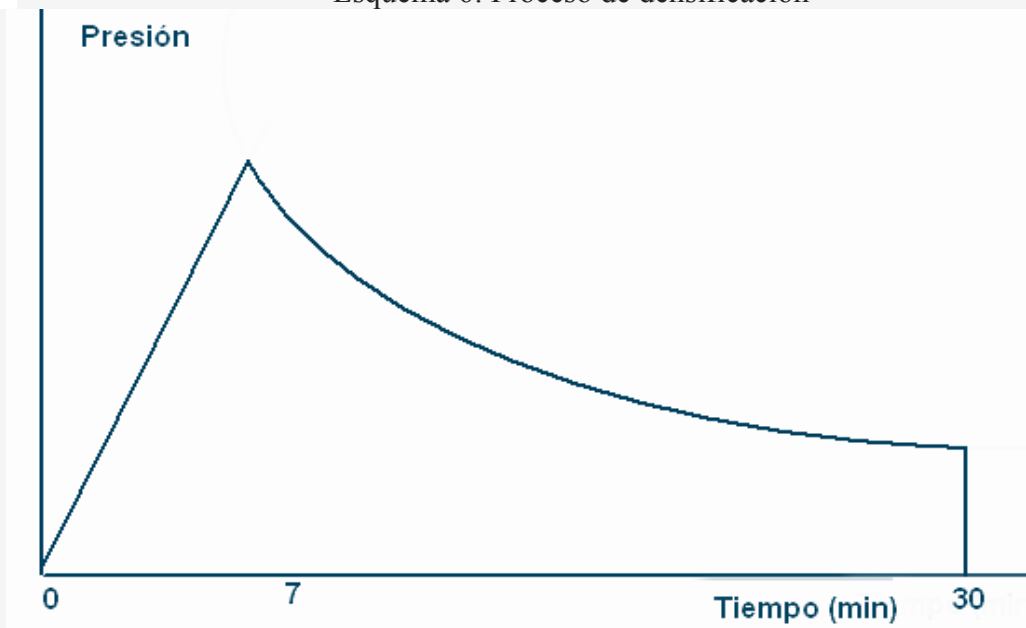
Para evitar que la madera se descomprima, debe evitarse la absorción de humedad y ello se consigue como se ha visto anteriormente, bien por métodos, físicos (termotratamiento) o químicos (acetilación o furfurilación) o mediante diversas combinaciones de tratamientos de compresión, térmicas y químicas.

El problema del termotratamiento es la reducción en la resistencia de la madera, que juega en contra de lo que se busca con la madera densificada, por ello el método más extendido es el de la furfurilación, que no solo no pierde la madera características, sino que mejora esas propiedades.

El proceso es el siguiente:

1. Tratamiento mediante vacío y presión [0,1 bar durante 30 min seguido de 4,5 bar durante 90 min]; de la madera con una mezcla de alcohol de furfuril al 97% junto con un 5% anhídrido maleico. Se puede añadir una proporción diferente de etanol.
2. Estabilización de la madera tratada durante 12 h
3. Tratamiento de la madera con vapor de agua, durante un tiempo que depende del grueso de la madera (1 min por mm de grueso)
4. Compresión de la madera en dirección radial en una prensa caliente a 120°C, comprimiéndola entre el 30 y el 50%, en un proceso de incremento de la presión gradual, alcanzando la presión máxima en 7 min y manteniéndose en la prensa cerrada durante 30 min.

Esquema 6: Proceso de densificación

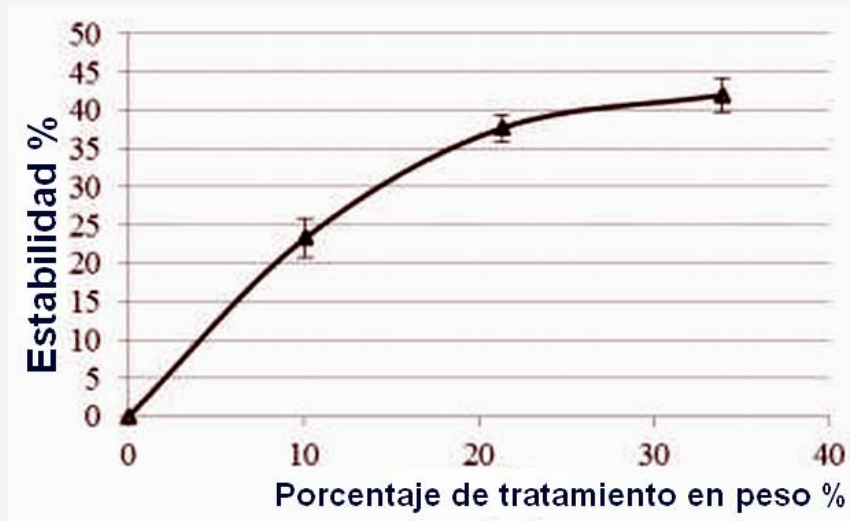


5. La madera tratada y comprimida se almacena en un horno a 103 ° C durante 24 h (etapa de post-curado). Este paso asegura que el proceso de polimerización se completó y se eliminaron los reactivos no polimerizados.

Las características de la muestra densificada de esta forma dependen del grado de compresión, y del grado de impregnación.

- El tratamiento de la madera supone una mejora de la estabilidad de la madera, en el gráfico se indica el porcentaje de mejora de la estabilidad con el grado de tratamiento:

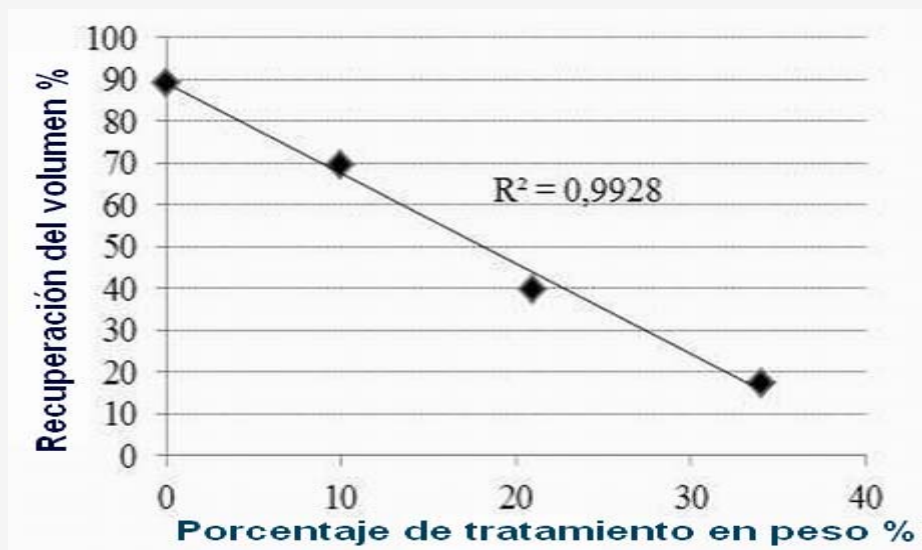
Esquema 7: Estabilidad de la madera en función del porcentaje de tratamiento aplicado



Según el gráfico, a partir de un tratamiento del 25% no se aumenta la estabilidad de la madera.

- La recuperación del volumen inicial de la madera, también depende del porcentaje del tratamiento

Esquema 8: Recuperación del volumen de la madera en función del porcentaje de tratamiento aplicado

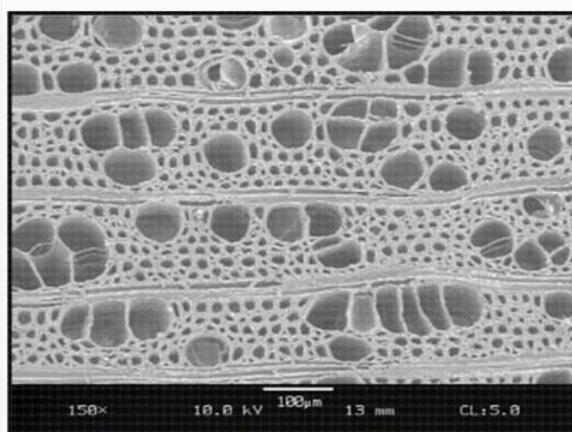


Según el gráfico, el porcentaje de recuperación del volumen, después de varias fases de inmersión (con presión) y secado, es directamente proporcional al porcentaje de tratamiento aplicado.

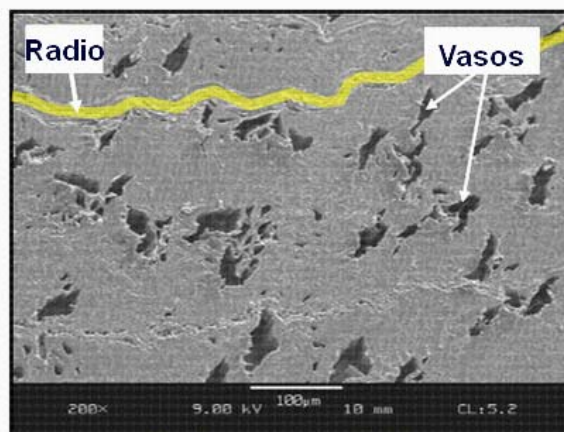
Foto 6, 7 y 8: Madera sin tratamiento, madera furfurilada y madera furfurilada y comprimida.



Foto 9 y 10: Aspecto microscópico de la madera sin comprimir y comprimida.



Madera sin comprimir



Madera comprimida

- Características físico mecánicas: Depende de la densificación y del porcentaje de tratamiento. Como ejemplo una madera de haya de 15 mm de grueso, comprimida un 30% (dimensión final 10,5 mm), tratada con 50% de alcohol furfuril, que supone un incremento del peso de la madera del 21% (más del 25% de tratamiento no aporta mejorar de estabilidad de la madera), presenta las siguientes características físico-mecánicas:

Tabla 8: Características físico-mecánicas de la madera sin furfurilar y densificar frente a la furfurilada y densificada

	Densidad gr/cm ³	Dureza N/mm ²	MOR N/mm ²	Módulo de elasticidad N/mm ²
Muestra	734	49	40	3.500
Muestra furfurilada y comprimida 30%	937	124	80	10.000

- Patología: La madera densificada y furfurylada, gracias al propio tratamiento químico y térmico posterior hace a la madera muy resistente tanto a los hongos (no tiene la humedad necesaria para su desarrollo) como a los insectos. También se le describe como no inflamable.

5.- COMPOSITES

Son los productos formados por la composición de madera y plástico en diferentes proporciones.

Aunque se han formulado composites a base de impregnar madera con productos plásticos de baja densidad, la complejidad de su polimerización ha impedido que se desarrollen industrialmente. La mayoría de los composites industriales se basan en la combinación de madera en forma de partícula o fibras, aglomerada mediante materiales plásticos.

El primer composite que se desarrolló fue la bakelita inventada en 1909 por Leo H. Baekeland, es uno de los primeros compuestos de madera – plástico al estar formada por finas partículas de madera a las que se añaden resinas de fenol y formaldehído. Desde la aparición de este producto la aparición de diversos composites ha sido continua.

Las posibilidades son infinitas, por una parte la madera aporta su carácter renovable, ecológico, elástico y resistente, mientras que el material polimérico, elimina casi totalmente sus problemas de higroscopicidad y con ellos el de la variación dimensional, los problemas con xilofagos, tanto con hongos como insectos, así como los problemas de pérdida de color que sufre por la exposición a la luz. El conjunto resulta un material estable, resistente, elástico y durable que puede emplearse desde la fabricación de carpintería de huecos como la de revestimientos, tanto de suelos como de paredes, tanto de interior como de exterior. Dependiendo del porcentaje de uno u otro las características del producto será más elástico o más plástico, más resistente mecánicamente o más durable.

Composición

- Las fibras de madera se distribuyen de forma aleatoria dentro de la matriz de materiales plásticos. El porcentaje de fibras de madera varía en función del producto, desde un 70% (tanto coníferas como frondosas) e incluso porcentaje mayores, hasta llegar a los productos de plástico reciclados que no contienen fibras de madera.
- Materiales plásticos: Se pueden utilizar los termoplásticos (que se reblandecen cuando se les aplica calor) o los termoendurecibles (que no se reblandecen con calor una vez que han fraguado).

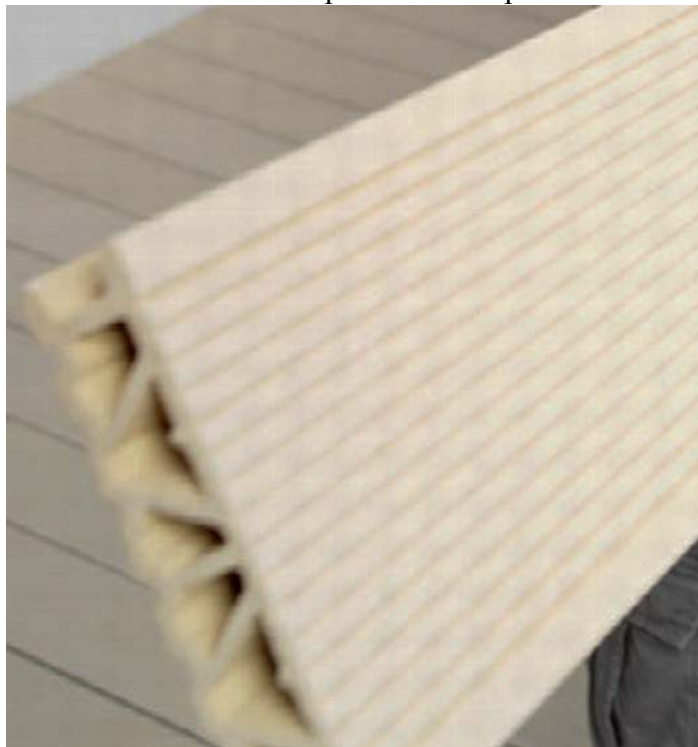
Dentro del grupo de los termoplásticos se encuentran los polietilenos y polipropilenos que se utilizan en multitud de aplicaciones no estructurales, como botellas o contenedores; y en el grupo de los termoendurecibles las resinas estructurales de poliéster y epoxi. Los residuos plásticos se pueden reforzar o aumentar de tamaño con fibras naturales, fibras de vidrio y otros materiales como el caucho.

La mezcla de materias primas se realiza por lotes o por procesos continuos y se fuerza su paso por una laminadora o por una extrusora, para inyectarse en los moldes correspondientes. La gran mayoría de los productos de madera y plástico son perfiles extrudidos, macizos o huecos.

Dar una especificación de los composites es decir muy poco dada la gran variedad de soluciones. Para dar un ejemplo se detalla las características del Composite comercial RELAZZO, de la empresa REHAU AG.

Foto 11: Aspecto del composite Relazzo

Relazzo es una tarima fabricada con una combinación al 50% de peso, de partículas de madera con un 48% de polipropileno, al que se ha añadido un 2% de color junto con insecticidas fungicidas, buscando conjuntar las propiedades de ambos materiales, a la vez que eliminar los inconvenientes de cada uno de ellos. Así, por una parte se aprovechan las características de la madera como material renovable, ecológico, elástico y resistente, que en su unión con el material polimérico, se evita casi totalmente sus problemas de higroscopicidad y con ellos el de la variación dimensional, los problemas con xilófagos, tanto con hongos como insectos, así como los problemas de pérdida de color que sufre por la exposición a la luz. Por otra parte la madera mejora la rigidez, ya de por si buenas del polipropileno, proporcionándole más resistencia y elasticidad. El conjunto resulta un material estable, resistente, elástico y durable.



Las características más importantes de este producto son las siguientes

Tabla 9: Características físico-mecánicas del Relazzo

Propiedad		Valor	Unidad
Densidad o peso específico		1,15	g/cm ³
Carga de rotura (EN 310)		3840	N
Flecha (EN 310, 500N)		1,9	Mm
Pérdida de carga de rotura (EN 321 y EN 310)		18	%
Fluencia en flexión (EN ISO 899-2, con 85 kg)		7,4	Mm
Resistencia al deslizamiento Rd (EN 12333)		58	Rd
Método de cocción 5h (EN 1087-1)	- Dilatación en longitud	0,2	%
	- Dilatación en anchura	0,4	
	- Dilatación en espesor	1,7	
	- Aumento de peso	2,3	
Dilatación térmica (en longitud) (ISO 11359-2)		$\leq 2,7 \times 10^{-5}$	K-1 Dilatación
Reacción al fuego (clasificación Euroclases)		0,2	%
Dilatación térmica (en longitud) (ISO 11359-2)		E _{ft}	

El fabricante no dispone de otras propiedades, aunque teniendo en cuenta las características del polipropileno se pueden deducir las siguientes:

El polipropileno tiene una dureza Rockwell de 80 que puede equivaler a la dureza 2,45 a 2,50 de la escala Brinell que es una dureza similar a la del cerezo americano. Naturalmente la dureza del Relazzo estará comprendida entre la dureza de las partículas de pino 1,8 y las del polipropileno 2,5.

El coeficiente de conductividad térmica del polipropileno es de 0,0972 Kcal/mh°C, y el de la madera está comprendido entre 0,1 y 0,15 Kcal/mh°C.

En cuanto a su patología, ya se ha indicado, es un material muy resistente a factores medioambientales, debe evitarse el contacto con agentes oxidantes fuertes, tales como agentes blanqueadores industriales, ácidos fuertes y disolventes orgánicos (p.ej. etanol, acetona, xileno, hidrocarburos, etc.). Tampoco conviene que quede expuesto a temperaturas de más de 60°C, (la temperatura de fusión del polipropileno es de 164°C, a partir de los 60°C empieza a perder resistencia, siendo crítica a partir de los 84°C).

Respecto de la resistencia al impacto, este composite tiene elevada resistencia aunque menor si se hubiese hecho con polietilenos.

Por último, frente al fuego, la emisión de humos el polipropileno tiene, ya de por sí, baja emisión de humos y de escasa toxicidad, debido a la falta de cloro en su composición, no obstante esta característica puede mejorarse de forma muy importante por los aditivos que pueda incorporar. Lo mismo se puede decir de la caída de partículas o gotas desprendidas en su reacción al fuego pues esta se ve muy modificada por los aditivos que incorpore.

6.- LOS TABLEROS DE USO EN ESPAÑA

6.1.-TIPOS Y COMPOSICIÓN

Los tableros de uso en España son los tableros alistonados, los contrachapados, los de partículas, usualmente llamados aglomerados y los tableros de fibras, cuya composición es la siguiente:

- **TABLERO ALISTONADO**

SWP: Es un tablero formado por listones de madera, de anchura variable, aunque es común los 22 mm, y longitudes la del tablero, unidas entre sí, mediante pegamentos que suelen ser de acetato de polivinilo o de urea formaldehído. A veces los listones están formados por varias piezas empalmadas mediante uniones en entalladura múltiple de canto.



Foto 12: Tableros utilizados en España

TIPOS

Por el número de capas

- *Tablero de madera maciza monocapa* o alistonado: está formado por piezas de madera, tanto de coníferas como de frondosas, encoladas entre sí formando una sola capa. Se correspondería con el que comercialmente se denominaba “tablero alistonado”.

Foto 13: Tablero de madera maciza



Foto 14: tableros multicapa

- *Tablero de madera maciza multicapa* : está formado por dos capas externas de láminas de madera con la dirección



de la fibra paralela a la longitud del tablero y al menos una capa interior perpendicular a las capas externas. Los más habituales son los de 3 capas (tricapas) y los de 5 capas.

Clasificación según la longitud de las piezas de la capa externa

- Tablero de piezas cortadas sobre su longitud (SC, con cortes visibles).
- Tablero con piezas enterizas (NC, sin cortes).

Clasificación según sus condiciones de utilización:

- SWP 1 ambiente seco.
- SWP 2 ambiente húmedo.
- SWP 3 ambiente exterior.

Clasificación según sus propiedades mecánicas

- tableros para aplicaciones no estructurales (NS = non structural).
 - SWP 1 NS ambiente seco.
 - SWP 2 NS ambiente húmedo.
 - SWP 3 NS ambiente exterior.
- tableros para aplicaciones estructurales con valores normalizados (S = Structural).
 - SWP 1 S ambiente seco.
 - SWP 2 S ambiente húmedo.
 - SWP 3 S ambiente exterior.
- tableros para aplicaciones estructurales con valores declarados (SD = Structural Declared Values).
 - SWP 1 SD ambiente seco.
 - SWP 2 SD ambiente húmedo.
 - SWP 3 SD ambiente exterior.

Clasificación por aspecto - Especie de madera

Se realiza en función de la especie de madera utilizada en su fabricación, evaluándose las siguientes características, que se han de medir de acuerdo con la norma UNE-EN 1310.

- Tableros de coníferas (UNE-EN 13017-1): clases: 0, A, B, C y S.
- Tableros de Frondosas (UNE-EN 13017-2): clases: A, B y C.

Clasificación por el aspecto de la superficie

Se pueden suministrar en bruto, lijados, con superficies texturizadas o con acabados superficiales (revestidos, barnizados, acabados en aceite, con una capa de apresto).

- TABLERO CONTRACHAPADO:

Está formado por un número impar de chapas de madera, de apenas décimas de milímetros o milímetros de espesor, dispuestas consecutivamente con la fibra cambiada 90° y encoladas entre sí con adhesivos termoendurecibles, que varían según la calidad frente a la humedad que se quiera dar al tablero. Así, las calidades que se comercializan y los pegamentos utilizados son los siguientes:

Foto 15: Tablero contrachapado de 5 capas.



TIPOS

Por su encolado

- I Para ambiente seco El adhesivo que utiliza es urea-formaldehído
- E para ambiente húmedo. El adhesivo que utiliza es melamina-formaldehído
- WP para ambiente exterior. El adhesivo que utiliza es fenol-formaldehído

- TABLERO DE PARTÍCULAS P:

Es el formado por partículas de madera de apenas unos cm de longitud, unos milímetros de anchura y entre 0,4 y 0,6 mm de espesor, encolados con adhesivos

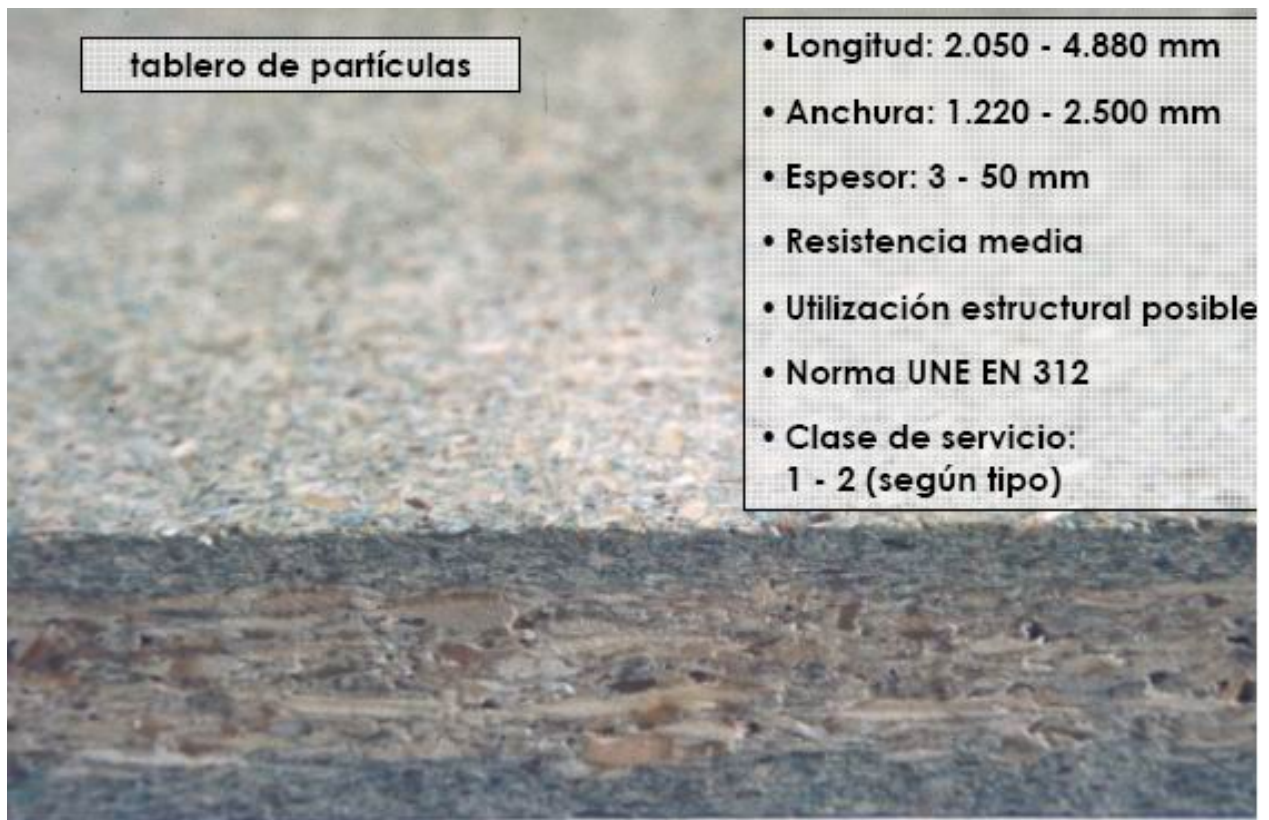
termoendurecibles y prensados de forma que la densidad oscile alrededor de 0,65 gr/cm³.

TIPOS

Al igual que en el caso de los tableros contrachapados según la resistencia que se quiera otorgar a los tableros a la humedad, los tableros se clasifican en las siguientes clases:

- **P1** Uso general en ambiente seco. El adhesivo que utiliza es urea-formaldehído
- **P2** Aplicación de interior en ambiente seco. El adhesivo que utiliza es urea-formaldehído
- **P3** Uso general en ambiente húmedo. Hidrófugo: El adhesivo que utiliza es urea-formaldehído en mezcla con melamina o fenol-formaldehído.
- **P4** Tablero estructural para uso en ambientes secos
- **P5** Tablero estructural para uso en ambiente húmedo
- **P6** Tablero estructural de alta prestación para uso en ambiente seco
- **P7** Tablero estructural de alta prestación para uso en ambiente húmedo

Foto 16: Tablero P5, en donde el fabricante aplica un colorante verdoso para indicar su resistencia a ambientes húmedos.



A los tipos anteriores, se debe añadir tableros de partículas de características más ignífugas, cuya reacción al fuego mejora respecto sus valores estándar.

- **TABLERO DE FIBRAS**

Es el formado por la unión de las fibras de madera, es decir, de las células individualizadas de madera, traqueidas si son coníferas o fibras y traqueidas si son frondosas.

TIPOS

Los tipos de tableros de fibras dependen del proceso de fabricación, del tipo de pegamento utilizado y en la densidad del producto.

- Sin adhesivo: Tablero de fibras húmedo. Se clasifican a su vez en las siguientes clases

Foto 17: Tablero de fibras húmedo



- Por su densidad
 - Tableros de fibras duros HB: $>900 \text{ kg/m}^3$.
 - Tableros de fibras semiduros MB: de 400 a 900 kg/m^3 .
 - T. de baja densidad MBL: de 400 a 560 kg/m^3
 - T. de alta densidad MBH: de 560 a 900 kg/m^3
 - Tableros blandos SB: de 230 a 400 kg/m^3
- Por condiciones de utilización
 - Tipos MBL y MBH: para utilización general en ambiente seco
 - Tipo MBL.H y MBH.H: para utilización general en ambiente húmedo
 - Tipo MBL.E y MBH.E: para utilización general en ambiente exterior

- Con adhesivo: Tablero de fibras seco o de media densidad, utiliza los mismos adhesivos que el t. de partículas
 - Por su densidad
 - Tableros de fibras de media densidad duro HDF: $>800 \text{ kg/m}^3$.
Aunque también se utiliza en traseras, fondos de cajones, etc... hoy día su principal aplicación es la de suelos laminados, en donde el tablero está recubierto en sus caras por un papel de melamina

Foto 18: Tablero de fibras HDF, utilizado en suelos de madera

- Tableros de fibras de media densidad ligero MDF: de 650 a 800 kg/m^3

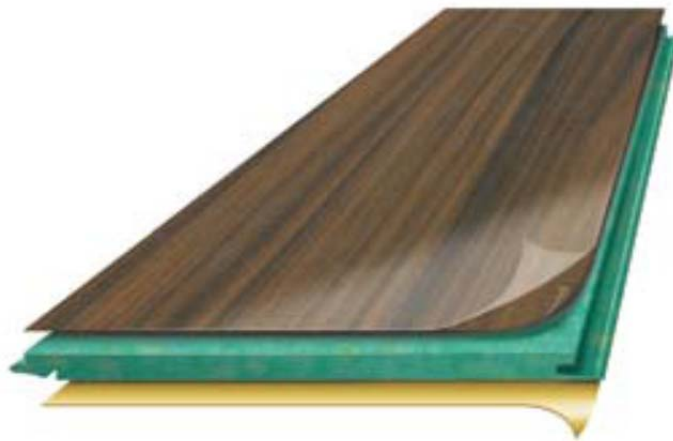


Foto 19: Tablero de fibras MDF



Foto 20: Tablero de fibras aislante

- Tablero de fibras de media densidad ultraligero MDF: de 500 a 650 kg/m³.
- Tablero de fibras aislante, es un tablero con una densidad menor de 0,5 kg/m³, normalmente alrededor de 0,3.



6.2.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS TABLEROS

Los tableros derivados de la madera, tienen comportamientos bastante parecidos a ésta, tanto en lo que se refiere a propiedades físicas como mecánicas, aunque sus valores no son exactamente iguales.

Así, en relación con el agua (humedad atmosférica) los tableros son higroscópicos, igual que la madera, hinchando y mermando según tome o ceda agua. En la tabla 9 se expresa la variación de humedad y los cambios dimensionales de los principales tableros, comparando estos con la propia madera, como consecuencia de la variación de las condiciones atmosféricas o por la inmersión en agua.

Tabla 10: Variación dimensional de los tableros con la humedad

	Condición inicial 25°C; 65% Hr	Condición 25°C; 30% Hr	Condición 25°C; 85% Hr	Inmersión en agua 24h
Madera o T. alistonado (*): H.E.H. Hinchazón o merma: Axial Radial y tangencial VOLUMETRICA	12%	6% 0,06% 0,8 al 1,5% 2,4%	19% 0,07% 1 al 1,7% 2,8%	
T. Contrachapado: H.E.H Hinchazón. o merma: Longitud. y ancho Espesor VOLUMETRICA	10 al 12%	6 al 7% 0,1 al 0,13% 1 al 1,5% 1,2 al 1,7%	15 al 20% 0,08 al 0,1% 2 al 3% 2,2 al 3,2	>30% 0,15 al 0,25% 4 al 5%
T. partículas: H.E.H. Hinchazón. o merma: Longitud. y ancho Espesor VOLUMETRICA	9 al 12%	7 al 9% 0,15% 1,5 al 2% 1,8 al 2,3%	12 al 18% 0,15% 2 al 2,6% 2,3 al 2,9	>30% 0,4% 8%
T. fibras: H.E.H Hinchazón. o merma: Longitud. y ancho Espesor VOLUMETRICA	9 al 12%	7 al 9% 0,15 al 0,2% 2 al 2,5% 2,3 al 2,8%	12 al 18% 0,15 al 0,2% 3 al 3,5% 3.3 al 3,8%	12 al 15%

(*) Suponiendo que es madera de pino silvestre

Es decir, los movimientos de los tableros son muy similares a la madera, contra lo que se suele exponer, un poco superior a ésta, con la diferencia que en la madera el cambio dimensional más notable se realiza en las 2 direcciones transversales de la pieza, mientras que en los tableros el cambio dimensional prácticamente solo afecta al espesor.

En cuanto a la densidad y dureza Monnin, la tabla 10 establece los valores de los diferentes tableros comparativamente con la madera maciza.

Tabla 11: Densidad y dureza de los tableros

Tipo de material	Densidad	Dureza
T. alistonado (*)	0,5	2
T. contrachapado y alistonado	0,55	2
T. partículas	0,65	3 a 4
T. fibras MDF	0,70	4 a 5
T. fibras duro	0,90	5 a 6
T. Virutas Orientadas OSB	0,65	3 a 4
T. partículas cemento	1,1-1,3	

(*) Suponiendo que es madera de pino silvestre

Como puede apreciarse, la dureza de los tableros es superior al de la madera maciza, lo que supone mayores dificultades de trabajabilidad, además debe tenerse en cuenta, que la cola que incorporan los tableros, ejerce de abrasivo de las herramientas de trabajo de la madera, que dificulta aún más la trabajabilidad señalada.

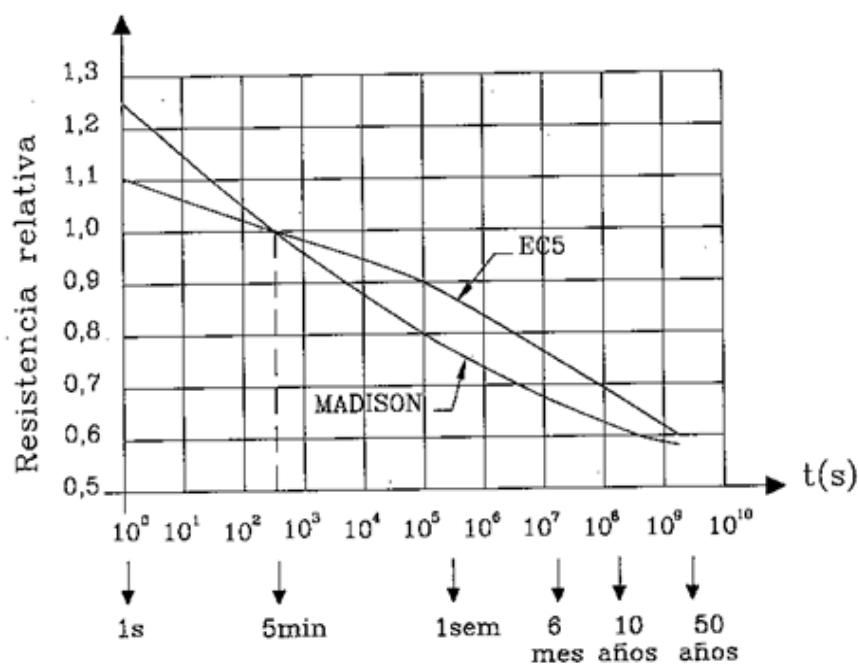
Esquema 9: Influencia del tiempo en la resistencia de los tableros.
Arriaga (1994)

6.3.-

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

En cuanto a sus características mecánicas, al igual que la madera, los tableros tienen un comportamiento elástico-plástico, quizás más acusado que la propia madera maciza (esquema 9).

En esfuerzos de larga duración la resistencia puede verse disminuida, de forma que apenas llega al 30% de los valores anteriores.



La resistencia a la rotura en esfuerzos de escasa duración es las indicadas en la tabla 12.

Tabla 12: Resistencia a la rotura de los tableros a esfuerzos de corta duración (valores aproximados).

Tipo de material	Resistencia a la flexión kg/cm ²	Módulo de elasticidad E kg/cm ²	Resistencia a la tracción kg/cm ²
Tablero alistonado	800	90.000	18
T. contrachapado y alistonado	700	90.000	18
T. partículas (para 19 mm)	150	28.000	3,5
T. fibras MDF (para 19 mm)	260	23.000	6
T. fibras duro	400	30 a 45.000	10
T. Virutas Orientadas OSB (3; 19 mm)	180	40.000	3
T. de partículas cemento	90	30.000	4

(*) Suponiendo como madera maciza, la madera de pino silvestre.

La resistencia característica de los tableros se calcula sin tener en cuenta la influencia de la duración de la carga, por lo que con posterioridad y dependiendo del tipo de cargas que deba soportar, deberá reducirse estos valores. La resistencia característica varía con los espesores del tablero y tipos de tableros según su hidrofuguidad. Para tableros estructurales de ambientes secos (no hidrófugos) y de 19 mm de espesor, la resistencia es la indicada en la tabla 13.

Tabla 13: Resistencia característica en kg/cm² de los principales tableros utilizados en España

	Flexión		Compresión		Tracción		Cortante	
	R	E	R	E	R	E	R	E
T. contrachapado*	234	62.780	210	62.780	115	66.940	15	1.800
T. de partículas	125	29.400	105	17.000	79	17.000	61	8.300
T. fibras MDF	210	30.000	125	27.000	125	27.000	65	8.000
T. fibras duro**	350	48.000	270	48.000	260	48.000	180	20.000

*Caso de tablero contrachapado de pino insigne de 18 mm y 9 chapas

** Tableros de 4mm de espesor

Como puede apreciarse, la resistencia característica de los tableros no tiene una diferencia notable respecto de sus valores medios de resistencia, dada la escasa variabilidad de sus características, pero en cambio estos valores deben reducirse en mayor medida que con la madera, consecuencia de la humedad y del tiempo de duración de la carga, según los valores que se indican en la tabla 5 siguiente:

En la tabla 14 solo se ha incluido la clase de humedad del tablero >20% al tablero contrachapado, dado que los demás tableros se hidrolizan los adhesivos que los constituyen, perdiendo totalmente su resistencia.

Tabla 14: Coeficientes de modificación de la carga característica por la humedad y el tiempo de carga

Tipo de tablero	Humedad del tablero	Tiempo de duración de la carga				
		Permanente >10 años	Larga De 10 a ½ año	Media ½ año a 1 semana	Corta <1 semana	Instantánea segundos
Tablero contrachapado	<12%	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	12 al 20%	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
	>20%	0,5	0,55	0,65	0,9	0,9
Tablero de partículas	<12%	0,25	0,3	0,4	0,65	1,1
	12 al 20%	0,2	0,2	0,25	0,45	0,8
Tablero de fibras MDF	<12%	0,2	0,3	0,4	0,6	1,1
	12 al 20%	-	-	-	0,45	0,8
Tablero de fibras duro	<12%	0,25	0,3	0,4	0,65	1,1
	12 al 20%	0,2	0,2	0,25	0,45	0,8

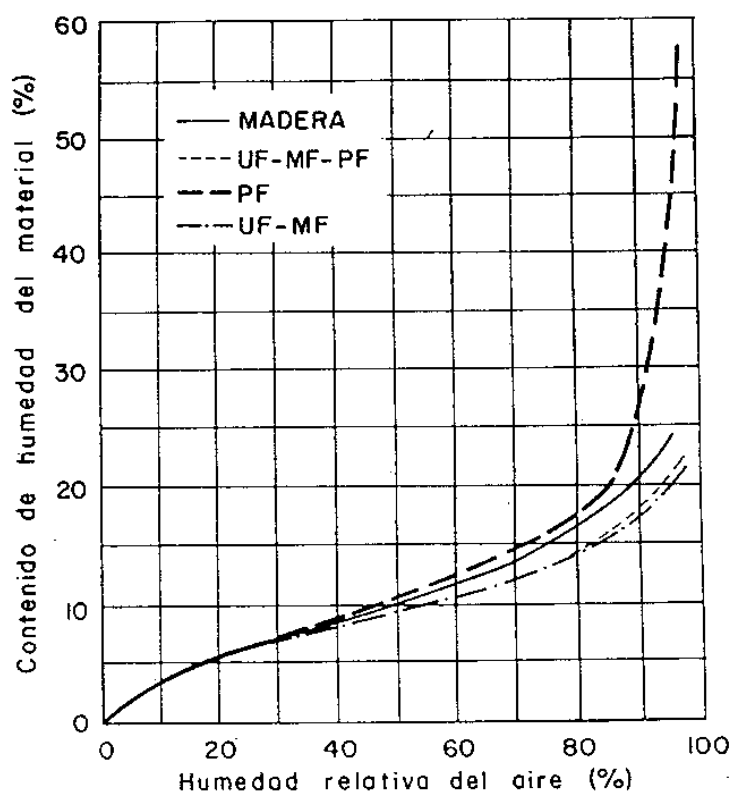
En el esquema 10 se indica la humedad de equilibrio higroscópico de los tableros según tipos de adhesivos y su comparación con la madera. Según este esquema, en contra de lo que suele difundirse comercialmente, los tableros más hidrófugos son los tableros con pegamento de Urea-formaldehído o sus combinaciones con melamina y fenol-formaldehído. En cambio los menos hidrófugos, incluso más que la madera, son los tableros con adhesivos de fenol-formaldehído.

Esquema 10: Curvas de higroscopicidad según tipo de adhesivo. Díez (1992)

Lo que sí es cierto es que los tableros con adhesivos de fenol-formaldehído son los tableros menos hidrolizables con la humedad, y por tanto más resistentes al exterior, concepto muy diferente al de hidrofuguidad.

6.3.- PATOLOGÍA DE LOS TABLEROS

Al igual que la madera, los tableros son susceptibles de ser atacados por insectos y hongos xilófagos. Además, presenta como particularidad el efecto degradativo que experimenta frente a la humedad, debido a que el agua ejerce una acción de hidrólisis sobre las colas que se suelen utilizar para recomponer la madera. Esto hace que en ambientes



húmedos o con agua líquida, los tableros se deterioren, hasta convertirse en inutilizables. Sólo los tableros contrachapados del tipo WBP, encolados con colas fenólicas son resistentes a la humedad.

De acuerdo con estas características de durabilidad, las normas UNE EN 339-3 establecen las siguientes clases de riesgo y recomendaciones de uso de los tableros que se indican en la tabla 15.

Tabla 15: Clases de riesgo y recomendaciones de uso de los tableros

Tipo de tablero/norma	Norma/ Calidad	Clase de servicio		
		1: Interior ¹	2: Interior húmedo ²	3: Exterior ³
T. alistonado	SWP/1 SWP/2 SWP/3	Permitido Permitido Permitido	No Permitido Permitido Permitido	No Permitido No Permitido Permitido
Contrachapado (UNE EN 636)	Calidad I Calidad E Calidad WBP	Permitido Permitido Permitido	No Permitido Permitido Permitido	No Permitido No Permitido Permitido
Partículas (UNE EN 312)	P1 a P4 P5 y P7 P6	Permitido Permitido Permitido	Permitido No Permitido Permitido	No Permitido No Permitido No Permitido
Virutas orientadas OSB (UNE EN 300)	OSB/1; OSB/2 OSB/3; OSB/4	Permitido Permitido	Permitido Permitido	No Permitido No Permitido
Fibras duro (UNE EN 622-2)	HB.LA HB.HLS	Permitido Permitido	No Permitido Permitido	No Permitido No Permitido
Fibras semiduro (UNE EN 622-3)	MHB.LA MBH.HLS	Permitido Permitido	No Permitido Permitido	No Permitido No Permitido
Fibras densidad media DM (UNE EN 622-5)	MDF.LA MDF.HLS	Permitido Permitido	No Permitido Permitido	No Permitido No Permitido
Fibras blando (UNE EN 622-4)		Permitido	Permitido	No Permitido

Respecto de su comportamiento al fuego, al igual que con la madera, se debe distinguir la reacción y la resistencia al fuego.

- En cuanto a la reacción al fuego y siguiendo el sistema de euroclases de reacción al fuego, los tableros estandar de espesores mayores de 10 mm (salvo los de fibras duro que pueden ser mayores de 5,5 mm, independientemente del tipo de tablero de que se trate se pueden clasificar en la clase D, con emisión de humo clase S1 y clase de emisión de partículas inflamadas D1. Para espesores menores, la clase pasa a ser E, con emisión de humos S2 y manteniéndose la clase de partículas inflamadas. Mediante tratamientos ignifugantes en profundidad se pueden llegar a obtener tableros Clase B y C.
- En cuanto a la resistencia al fuego, los tableros presentan una velocidad de carbonización de entre 1,0 (caso de los tableros contrachapados) y 0,9 mm/min (resto de los tableros).

¹ Definido porque la Hr raramente supera el 65% algunas semanas del año

² Definido porque la Hr raramente supera el 85% algunas semanas del año

³ Definido porque la Hr supera las condiciones indicadas en 2

6.4.- OTRAS CARACTERÍSTICAS

Analizando todos estos valores suministrados no se comprende las verdaderas propiedades que presentan estos tableros respecto de la madera maciza. Se debe tener en cuenta los siguientes datos:

- Medidas de superficie: Los tableros se comercializan con medidas que van desde 1,22 x 2,44 cm (4x8 pies), hasta el 2,44 x 4,88 cm, pasando por el 1,83 x 3,86 y todas sus combinaciones, lo que permite un gran aprovechamiento de la materia prima.
- Grueso: Los tableros se comercializan en gruesos desde los 4 mm, hasta los 50 mm o más, siendo los gruesos más frecuentes, 6, 12, 16, 18; 19, 22, 25 y 30 mm con una tolerancia en grueso de 0,3 mm, en tableros contrachapados y de partículas y 0,2 en tableros de fibras.
- Calidad de superficie: Los tableros se comercializan lijados (o incluso revestidos) con lijas de grano 120 a 160, lo que supone una superficie apta para realizar el acabado directamente.
- Calidad de escuadría: La calidad de escuadría en los tableros debe ser igual o menor a 2mm/m
- Calidad de los cantos: Los tableros se comercializan con una tolerancia de rectitud de los cantos de 1,5mm/m, pero la característica más importante es la heterogeneidad del canto. Esta heterogeneidad por tipo de tablero es la siguiente:
 - T. contrachapados: En los cantos se alternan chapas de madera con la fibra en dirección del canto y perpendicular a él. Cuando se procede al corte, a una de las chapas se la corta en dirección de la fibra y a la otra en dirección perpendicular, lo que lleva frecuentemente al astillado de esta, salvo que se trabaje a las velocidades aconsejables al tablero contrachapado. En cualquier caso, el aspecto del canto es bastante irregular, lo que obliga a realizar un acabado conveniente (chapeado o lacado).
 - T. de partículas: Se caracteriza, primero por una irregularidad en el tamaño de las partículas, así, las más exteriores son finas (0,2 mm de grueso) y las interiores gruesas (0,4 mm de grueso) y segundo por su diferente compactación. Así, mientras que en la capa más externa la densidad del tablero puede llegar a 1,2 gr/cm³, el interior puede ser de tan sólo 0,5 gr/cm³. Todas estas heterogeneidades hace que el tablero no admita perfilados y acabados directos de calidad u obliga a utilizar recubrimientos muy gruesos que disimulen estas irregularidades.
 - T. de fibras de densidad media: Se caracteriza por su mayor regularidad de los cantos, pues el tamaño de las fibras es idéntico en el exterior como en el interior, y la distribución de la densidad no difiere mucho (entre 0,95 y 0,7 gr/cm³), siendo la calidad del tablero, superior cuanto menor variación disponga. Esta homogeneidad permite que este tablero pueda ser mecanizado los cantos, de la misma forma que con la madera maciza

- Contenido en formaldehído: Los pegamentos utilizados en la fabricación de los tableros contienen formaldehído en exceso, para conseguir el fraguado de la cola. Este formaldehído que no interviene en las reacciones se desprende a lo largo de la vida del tablero de una forma más o menos continuada, provocando, que en los lugares en donde se utiliza exista en mayor o menor concentración este tipo de producto.

Los problemas que origina el formaldehído son de diversa índole, así, en concentraciones por encima de $0,33 \text{ mg/m}^3$ se siente olfativamente este producto, a partir de los $0,59 \text{ mg/m}^3$ se notan molestias en las fosas nasales, a partir de los $0,81 \text{ mg/m}^3$ a los picores nasales se une una irritación en el vértice interior de los ojos con producción de lagrimeo. Por encima de 3 mg/m^3 se tiene sensación de escozor en los bronquios. A todo esto, se debe unir, el hecho de haberse comprobado como el formaldehído es un producto cancerígeno en ratones.

Todos estos efectos, ha motivado que exista una regulación del contenido o emisión máxima que deban tener los tableros, y que se limite la proporción del volumen de tableros utilizados en determinadas estancias, en función de su ventilación o renovación de aire.

Para evaluar el contenido en formaldehído se utiliza la norma EN 120: método del perforador y para medir la emisión se utilizan las normas ENV 717-1: método de la cámara y EN 717-2: método de análisis de gas) las cuales están definidas en la norma armonizada EN 13986:

La emisión o/y contenido que deben tener los distintos tipos de tablero para cada clase de calidad son los indicados en la tabla 15, siguiente:

Tabla 16: Contenido o emisión de formaldehído según clases de calidad y tipo de tableros

Clase calidad		E1			E2		
Tipo tablero		Método EN717-2	Método EN717-2	Método EN717-1	Método EN717-2	Método EN717-2	Método EN717-1
T. contrachapado		$\leq 3,5$ $\text{mg/m}^2\text{h}$	≤ 5 $\text{mg/m}^2\text{h}^*$	$\leq 0,14$ $\text{mg/m}^3\text{aire}$	3,5 a 8 $\text{mg/m}^2\text{h}$	5 a 12 $\text{mg/m}^2\text{h}^*$	$>0,14$ $\text{mg/m}^3\text{aire}$
T. partículas	Contenido Emisión	$\leq 8 \text{ mg/100 g de tablero}$			$>8 \text{ y } \leq 30 \text{ mg/100 g de tablero}$		
		$\leq 0,124 \text{ mg/m}^3\text{aire}$			$>0,14 \text{ mg/m}^3\text{aire}$		
T. fibras	Contenido	$\leq 8 \text{ mg/100 g de tablero}$			$>8 \text{ y } \leq 30 \text{ mg/100 g de tablero}$		

6.5- OTROS TABLEROS

- TABLEROS DE VIRUTAS ORIENTADAS OSB,

Es un tablero que, como dice su nombre está formado por virutas de madera de entre 5 y 10mm de ancho y de 100 a 120mm de largo, esta longitud siempre en dirección de la fibra. El grueso oscila alrededor de los 0,4 mm, encoladas entre sí por colas de diversos tipos según la resistencia al exterior que quiera darse al tablero. Se utiliza adhesivos del tipo fenol-formaldehído (PF), urea-formaldehído-melamina (MUF), di-isocianato (PMDI) o la mezcla binaria de las anteriores. En Europa lo más común es encontrar una mezcla de resinas, las del tipo PMDI para

las virutas de la capa media mientras que las MFU se destinan a las capas externas.

Foto 21: Tablero de virutas orientadas OSB



El aspecto del tablero OSB es perfectamente identificable debido al tamaño de las virutas y a su orientación en la superficie del tablero. Sin embargo, no siempre la orientación es visualmente aparente sobre todo si se trata de piezas pequeñas de tablero OSB. Las principales ventajas del tablero OSB residen en el campo de sus propiedades mecánicas, que están directamente relacionadas con la geometría de las virutas así como con su orientación en el tablero. Aunque el OSB está constituido de virutas relativamente largas, su superficie es maciza y relativamente lisa, pudiendo ser mejorada cuando se lija, sin perder el aspecto estético característico único del OSB.

TIPOS

Dado que estos tableros tienen su mercado en la construcción, su clasificación se realiza en función de su resistencia. La norma EN 300 define cuatro tipos de tableros OSB en función de sus propiedades mecánicas y resistencia a condiciones húmedas. Estos cuatro grados son:

- OSB/1 - Tableros para uso general y aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) utilizados en ambiente seco.
- OSB/2 - Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- OSB/3 - Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- OSB/4 - Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente húmedo.

- Por su encolado: Utiliza los mismos pegamentos que el t. de partículas.
 - 1 calidad interior para ambiente seco
 - 2 calidad interior portante
 - 3 calidad semiexterior portante
 - 4 calidad semiexterior altamente portante

- **TABLEROS DE MADERA CEMENTO**

Es un producto en donde la madera sólo supone el 25% en peso del total del producto, cuyas características más importantes se refieren a su resistencia y reacción al fuego y a su aislamiento acústico.

Las propiedades mecánicas más importantes de estos tableros son las indicadas en la tabla 17:

Tabla 17: Características físico-mecánicas de los tableros madera-cemento

Propiedades	
Densidad Kg/m ³	1100 a 1300
Resistencia a la flexión longitudinal Kg/cm ²	90
Módulo de elasticidad Kg/cm ²	30.000
Resistencia a la tracción perpendicular a la fibra Kg/cm ²	4

Foto 22: Tablero de madera cemento



En cuanto a la densidad y dureza Monnin, la tabla 18 establece los valores de los diferentes tableros comparativamente con la madera maciza.

Tabla 18: Densidad y dureza de los tableros

Tipo de material	Densidad	Dureza
Madera maciza (*)	0,5	2
T. partículas cemento	1,1-1,3	

(*) Suponiendo que es madera de pino silvestre

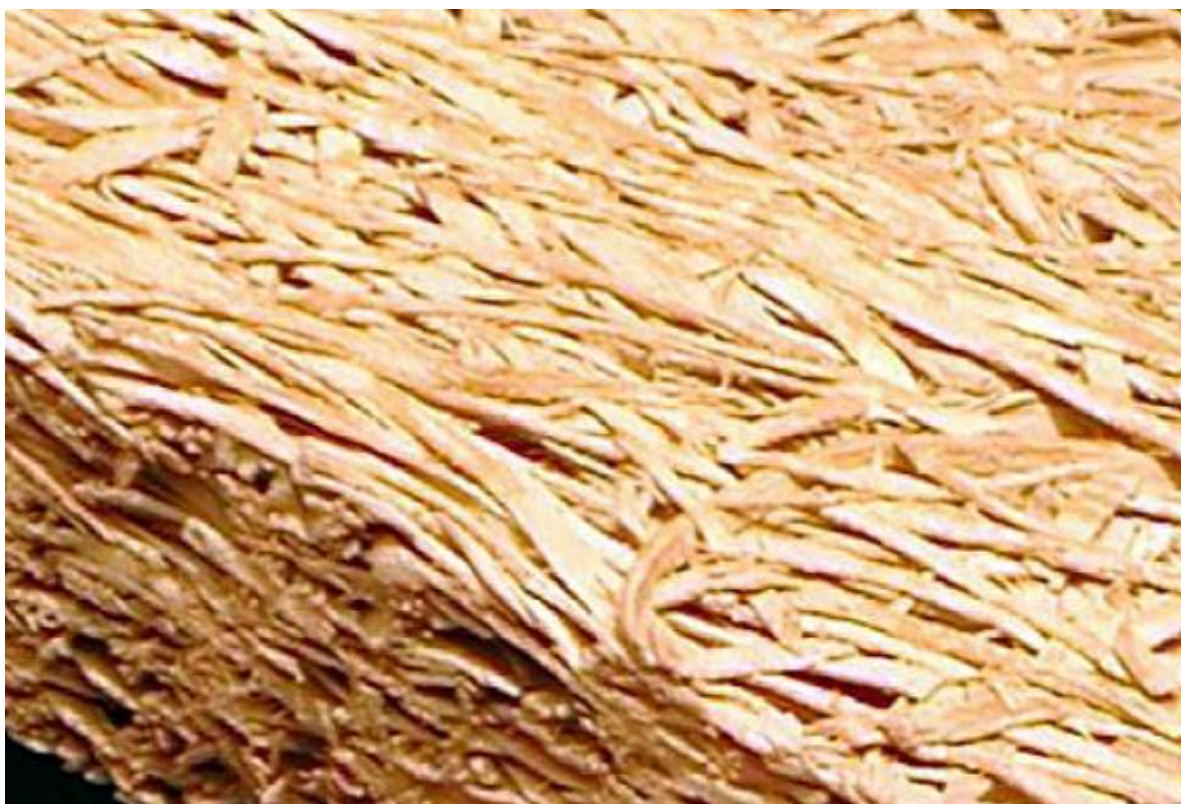
En cuanto a su reacción al fuego, según el sistema de euroclases, los tableros de 10 o más mm de espesor se pueden clasificar en la clase B, con emisión de humo clase S1 y clase de emisión de partículas inflamadas D0.

Por supuesto estos tableros no emiten formaldehído.

- **TABLEROS DE VIRUTA CEMENTO,**

Este tablero utiliza como aglomerante el cemento Portland y con una densidad de 0,39 a 0,45 busca proporcionar un aislamiento acústico (absorbente) y térmico en techos y revestimientos (aislamiento térmico 0,35 a 0,7 m²K/W.s)

Foto 23: Tablero de viruta cemento



Es un tablero de escasa resistencia mecánica (Resistencia a la compresión 2 kg/cm^2 ; Resistencia a la flexión 7 kg/cm^2) cuyo uso más frecuente es en los revestimientos de techos con fines de absorción acústica

Este tablero se comercializa en tableros de 60x60; 120x60 y 200x60 en espesores de 25; 35 y 50 mm con fines de absorbente acústico. Su característica de reacción al fuego B-s1-d0.

Foto 24: Tablero atamborado

- **TABLEROS ATAMBORADOS:**

Son tableros constituidos por dos caras de tableros contrachapados, de partículas o fibras y un alma alveolar de papel o cartón ondulado.



- **TABLEROS LIGEROS:**

Son tableros constituidos por dos caras de tableros contrachapados, de partículas o fibras y un alma de poliestireno extrusionado u otro material aislante.

Son tableros aislantes y menos resistentes, su mercado es fundamentalmente como soporte de cubiertas en estructuras ligeras de madera

Sus características mecánicas son las siguientes: Para una distancia entre apoyos de 975 mm y una carga de 150 kg/m^2 la flecha es la siguiente:

Tabla 18: Evolución de la flecha para una distancia entre apoyos de 975 mm y una carga de 150 kg/m^2

Tiempo	5 min	14 días	28 días
Flecha	1,1 mm	1,7 mm	1,8mm

Foto 25: Tablero ligero



6.6.- RECUBRIMIENTOS

Es el caso más frecuente, tanto en la formación de tableros contrachapados como en la formación de tableros rechapados.

Los revestimientos más utilizados en la industria son los siguientes:

- REVESTIMIENTOS DE LAS CARAS.

- A base de chapa de madera o similares:

Para revestir las caras se suelen aplicar chapas de madera, normalmente obtenidas a la plana con espesores de entre 6 y 8 décimas de milímetro. El rechapado obtenido es necesario su acabado mediante los sistemas tradicionales.

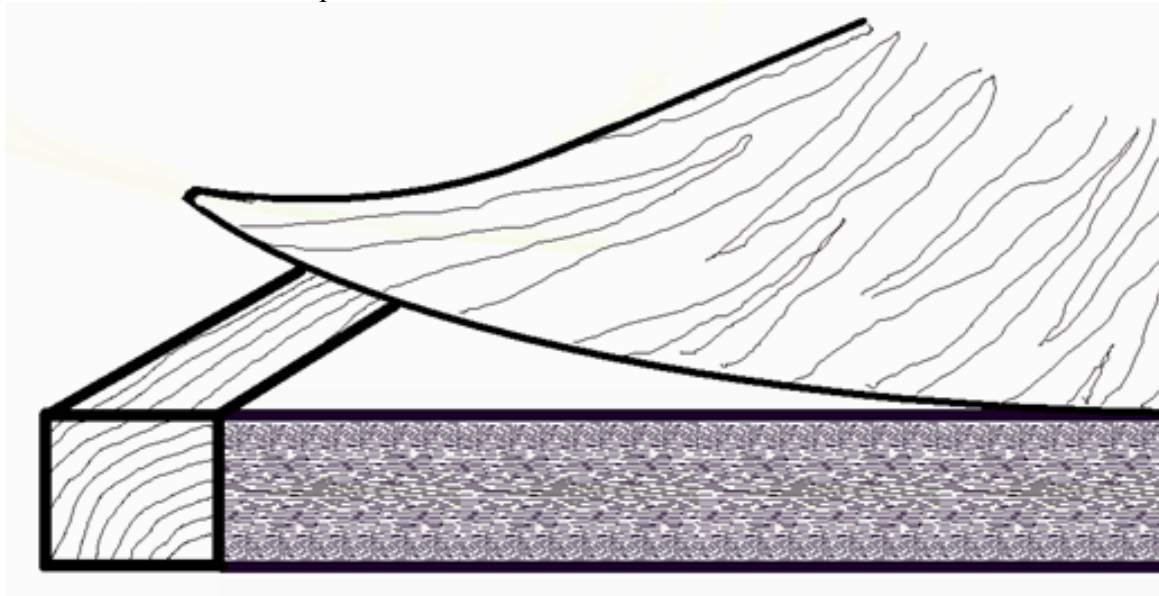
Por supuesto, aunque sólo interese rechapar una sola cara, suele ser necesario colocar en la contracara del tablero un papel o una resina de compensación.

Las características de resistencia de este rechapado dependen del espesor y especie de chapa que se aplique y por supuesto del tipo de acabado que se dé a su superficie.

Las chapas que se aplican se suelen obtener por corte a la plana aunque hay casos que son por desenrollado. Las chapas se comercializan en fajas de aproximadamente 2,4 m de longitud, y en diferentes anchos, en un conjunto de al menos 25 hojas que guardan la secuencia exacta de cómo se saco en la troza.

También se comercializan los rechapados con chapas artificiales, que son chapas de madera obtenidas mediante sistemas complejos, basados en reconstituir una troza a base de chapas de varias especies o una única especie pero con diferentes tintes. La homogeneidad de las chapas hace que se obtengan calidades más uniformes y además que se desperdicie menos chapa.

Esquema 11: Revestimiento de tableros con canto oculto



- **A base de papeles impregnados**

Denominados: Folios post-impregnados; Finish-foil post-impregnado; finish foil pre-impregnado; y Finish foil con poro químico.

Son papeles decorativos, de gramajes comprendidos entre los 40 a 60 gr/cm² impregnados en resinas de urea formaldehído en una proporción del 60 al 100% del peso del papel.

La impresión de la madera se consigue por la aplicación de varios colores consecutivos, normalmente 3, pero una empresa japonesa ha lanzado en el mercado un papel con un 4º color, en forma de heliográfica, de forma que consigue el típico efecto de la madera de cambiar de brillo según la orientación de la luz. La imitación que se está consiguiendo de la madera es cada día más perfecta, no sólo en color, veta, sino también en tacto, con lo que día a día es más difícil diferenciar la madera de sus imitaciones en papel.

Las diferentes denominaciones de estos papeles indican la necesidad o no de dar barnices de acabado:

- Folios post-impregnados (*Pre impregnated*): Necesita acabados, siendo la calidad de este acabado la que proporcione la calidad de la superficie obtenida.
- Finish foil post-impregnado (*Post impregnated*): Al papel anterior se le ha añadido de 10 a 40 gr/cm² de laca en su superficie, por lo que no requiere de acabados. Por su consistencia y su manejabilidad es el más comercial, sobre

todo en la industria de tamaño pequeño y medio. También es un recubrimiento de mayor resistencia al rasgado, al impacto y a la humedad que el anterior.

- Finish foil pre-impregnado: Es un papel con acabado superficial, pero poco manejable en hojas y de unas características tales, que para su aplicación se necesita una buena calidad de tablero y una instalación de recubrimiento a base de debobinadora y prensas de 1 hueco o de calandras, cuya inversión es considerable, por lo que sólo se utiliza por empresas de tamaño grande.
- Finish foil con poro químico (*Recoatable*): Son papeles de alguno de los tipos anteriores a los que se ha aplicado una ligera capa de laca superficial que admite un barnizado posterior gracias a la especie de poro que tiene en su superficie.
- **Estratificados decorativos plásticos de baja presión: melamina.**
Son papeles kraft de diferentes gramajes, decorados o no con colores o fotos de madera, impregnados en una resina plástica a base de melamina (ya sea urea mezclada con melamina o melamina). En los casos un tanto excepcionales que se utilicen para revestir superficies horizontales se le suele añadir al laminado impregnado una capa de resina para aumentar su resistencia. Su espesor oscila alrededor de 0,2 mm.

En este caso el encolado previo no es necesario, pues el papel ya está encolado, y la cola se vuelve a reactivar suministrando calor al papel. Por ello, el proceso de revestimiento consiste en superponer el papel al tablero y prensar con temperaturas de entre 150 a 160 °C y presiones de entre 70 y 80 Kg/cm².

Foto 26: Recubrimiento de tableros con melamina



En la foto 18 se puede apreciar un tablero recubierto con melamina y en la 26, el proceso de recubrimiento.

Las características de resistencia del revestimiento es muy elevada, tanto a efectos de corrosión de productos químicos como al corte por cuchillo y al desgaste por abrasión, si bien este último depende del gramaje que se utilice del papel. Su aplicación más típica es en los revestimientos de superficies verticales, salvo casos un tanto excepcionales, ya indicados de recubrir superficies horizontales.

Los tableros así recubiertos se comercializan bien con la superficie lisa o bien con microporos para simular mejor la madera (aplicado mediante placas decoradas que se incorporan a la prensa).

- **Estratificados decorativos plásticos de alta presión: Fenólicos**

Estos laminados están formados por varios papeles (papel decorativo impregnado en melamina y papel base del tipo kraft en una o varias capas, impregnadas con colas fenólicas) con una capa exterior decorativa impregnada en melamina. Además puede tener o no una capa overlay (papel transparente de alfa-celulosa) impregnada en melamina. El conjunto tiene un grueso de entre 0,7 a 1 mm, pudiendo llegar a 1,2 mm. La cara exterior está perfectamente pulida mientras que la interior está lijada para facilitar su encolado.

Las características de resistencia del revestimiento es también muy elevada, tanto a efectos de corrosión de productos químicos como al corte por cuchillo y al desgaste por abrasión. Aunque la resistencia a la abrasión es ligeramente menor que con los tableros de baja presión, su mayor espesor proporciona más duración a la superficie. Su aplicación más importante es en los revestimientos de superficies de trabajo: superficies horizontales.

Se comercializan los mismos tipos de acabado que con los de melamina.

- **Estratificados decorativos plásticos de media presión: Laminados en continuo**

Estos laminados están formados por 2 papeles (papel decorativo impregnado en melamina y papel base del tipo kraft en una o varias capas, impregnadas en resina plástica) dando un espesor total de 0,3 a 0,4 mm. No suele tener capa de overlay, salvo que se quiera utilizar en superficies horizontales, en cuyo caso, al igual que con los laminados de baja presión se le añade una capa de resina. Su aspecto es muy similar al de alta presión.

Este tipo de recubrimientos tiene una resistencia a la abrasión mucho menor que los laminados de alta presión, pero tiene la ventaja de su menor precio y que se puede recubrir en prensas continuas. Su utilidad usual es en el recubrimiento de superficies verticales.

Se comercializan los mismos tipos de acabado que con los de melamina.

Foto 27: Tablero recubierto con PVS en la cara y 4 cantos

- **A base de láminas de PVC:**

Este tipo de recubrimientos, está formado por una lámina de plástico de 0,4 mm de espesor, dando unas características de resistencia bastante inferior a los laminados.

Su utilidad radica en la gran elasticidad del PVC que le permite adaptarse a diferentes formas de la cara del tablero,

incluso permite que se recubra simultáneamente a la cara los 4 cantos del tablero.



- **A base de lacas (poliester o acrílicas)**

Normalmente sólo se aplican a los tableros de fibras gracias a la calidad de superficie que tienen, que hacen que la absorción de lacas sea relativamente pequeña.

- **RECUBRIMIENTOS DE CANTOS:**

- Recubrimientos de cantos rectos:**

- **A base de listones de madera maciza**

Este tipo de recubrimiento se suele hacer previo al rechapado mediante chapa de madera, de forma que esta chapa tapa la unión entre el canto y el tablero. Es sin duda el que más calidad ofrece, aunque tiene como inconveniente que el diferente comportamiento entre la madera y el tablero se traduzca a lo largo del tiempo con un desnivel entre ambos productos que se pone de patente a pesar de la chapa.

Dentro de este tipo de recubrimiento se puede distinguir entre el caso de encolado a tope o machihembrado.

- **A base de chapas de madera**

El recubrimiento en este caso se realiza mediante chapas de madera que se comercializan en formas de bobinas, en donde para dar mayor elasticidad a la chapa, se suele encolar a esta un papel kraft.

- **A base de láminas de PVC:**

Este tipo de recubrimientos, está formado por una lámina de plástico de 0,4; 1; 2 o 3 mm de espesor.

No es muy resistente a la abrasión pero su espesor permite garantizar una buena durabilidad y además, como ya se ha indicado tiene la ventaja, que permite no solo el recubrimiento de la cara, sino también el de los 4 caras, dada la flexibilidad que tiene el PVC.

- **A base de láminas de papel decorativo impregnado en resinas poliéster.**

Este tipo de recubrimiento es el más clásico, caracterizado por comercializarse en bobinas de diferentes espesores y colores. Su resistencia a la abrasión, cuchillo y otras es bastante elevada, pero es más rígido.

Recubrimientos de cantos curvos

- **Sistemas Postforming**

Son aquellos que en el recubrimiento de la cara dejan un exceso de lámina para después con ella recubrir el canto y parte de la trasera, a base de ir doblando poco a poco la lámina sobrante. En el caso de melamina para poderla conformar es necesario añadirle otro papel kraft y así evitar que se rompa.

Foto 28: Recubrimientos plásticos postformados (superior) y softformados (los dos inferiores)



- **Sistemas softforming**

Son aquellos en que se aplica un recubrimiento de cantos independiente de los recubrimientos de la cara.

Bibliografía:

AITIM, 1.966: "*Normas españolas de tablero contrachapado*" AITIM, Madrid, 38 págs

AITIM, 1.967: "*Empleo del tablero contrachapado exterior*" AITIM, Madrid, 51 págs

AITIM, 1.985: "*El tablero de partículas. Normas y especificaciones*" AITIM, Madrid, 86 págs

ARRIAGA MARTITEGUI et al; 1.994 *Guía de la madera para la construcción el diseño y la decoración*. Editado AITIM, pp 133-230

DIETRICH, T.; PFRIEM, A.; BUCHELT, B.; WAGENFÜHR, A.; 2012 Densification of beech wood: Furfuryl alcohol impregnation for improved plasticization, fixation and properties . Hardwood Science and Technology” The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2012, pp 115 a 123.

http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop422b/2010-0018_kotet_01_hardwood1/adatok.html

FERNANDEZ-GOLFÍN J. J.; DIEZ M. R.; MIRANDA M. M., 1.992 "*Comportamiento reológico del tablero de partículas. Influencia del tipo de encolado y del revestimiento superficial aplicado*" Ed. MAPA, Comunicaciones INIA, Serie Tecnología Agraria nº20, Madrid, 95 págs.

FERNÁNDEZ, S.; VIGNOTE, S.; JIMENEZ, E.; 2010 Instalación de tarima exterior de composite, Relazzo de la Empresa Rehau AG. AITIM, Sept-Oct. Madrid

FOREST PRODUCT LABORATORY 2.010 “Wood handwook, Wood as an engineering material. General report FPL 190 Madison WI: US, 508 p

GUINDEO A.; 1.976 "*Características mecánicas de los tableros contrachapados de maderas tropicales*" Ed. AITIM, Madrid, 125 págs

GINZEL W.; y PERAZA C.; 1.966 *Tecnología de tableros de partículas* Ed. IFIE Madrid; 185 págs.

HOMAN, W., TJEERDSMA, B.; BECKERS. E.; JORISSEN, A. 2.001 Structural and other properties of modified Wood <http://www.thermotreatedwood.com/Researches/3-5-1.pdf>

LÓPEZ J. A. y PARDO L.; 1.975 "*Formaldehído en tableros de partículas*" Ed. AITIM, Madrid, 125 págs

MARTÍNEZ SANZ E.; 2.004 Comunicación personal

MEDINA, G.; 2.001 “*Reacción al fuego de los materiales de construcción*” Ed Revista AITIM nº212, págs 75 a 78

MEDINA, G.; 2.004 “*Ensayos de reacción al fuego de parquet. Avance de resultados de un programa europeo.*” Ed Revista AITIM nº229, págs 30 a 33

ODITA; 1.979 "*El tablero aglomerado en la construcción*" Ed. ODITA, Madrid, 221 págs

ODITA; 1.983 "*El tablero aglomerado de madera hidrófugo como base de cubiertas*" ED. ODITA, Madrid, 32 págs

ODITA; 1.985 "*El tablero aglomerado de madera en cerramientos*" ED. ODITA, Madrid, 32 págs

PERAZA F.; ARRIAGA F.; PERAZA J.E.; 2.004 “*Tableros de madera de uso estructural*” Ed. AITIM, 252 pág.

RAPP A.O. 2001 Review on heat treatments of wood
http://projects.bre.co.uk/ecotan/pdf/Heat_treatment_processes_Andreas_Rapp%20.pdf

VIGNOTE S., 1.979 “*Ensayos de control de calidad de tableros de partículas hidrófugos*” Ed. Boletín de AITIM nº95, Madrid, 2 págs

VIGNOTE S. 1.979 “*Los tableros de fibra de densidad media*” Ed. Boletín de AITIM nº99, Madrid, 2 págs

VIGNOTE S., 1.980 “*Los tableros de virutas anchas*” Ed. Boletín de AITIM nº100, 2 págs

VIGNOTE S., MARTÍNEZ ROJAS, I.; 2.006 “*Tecnología de la madera*” Ed. Mundi-Prensa. 650 pp